

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації**

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 681.3.06

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка, Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем

(код і назва спеціальності)

на тему: «Визначення електромагнітної обстановки в приміщенні, насиченому телекомунікаційною апаратурою».

Виконав студент VI курсу, групи ДВ-71мп

(шифр групи)

Березюк Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проф. кафедри ЗТ та РІ, к.т.н. проф. Пілінський В.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ Факультет електроніки \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) \_\_\_\_\_ 171, Електроніка \_\_\_\_\_  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)      (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Березюку Андрію Миколайовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Визначення електромагнітної обстановки в приміщенні, насиченому телекомунікаційною апаратурою.

науковий керівник дисертації Пілінський Володимир Володимирович., к.т.н, професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. №4114-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2018р.

3. Об'єкт дослідження Електромагнітна обстановка в різноманітних приміщеннях та офісах.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Радіоелектронна апаратура різного призначення, теоретичні та практичні методи визначення електромагнітної обстановки.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити. Проаналізувати методи дослідження електромагнітної обстановки. Змодельовати електромагнітну обстановку конкретного офісу.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Мета та завдання роботи, висновки, Методи визначення електромагнітної обстановки, Офісне досліджуване приміщення, результати моделювання.

7. Орієнтовний перелік публікацій «Визначення електромагнітної обстановки у приміщеннях, оснащених різномірною радіоелектронною апаратурою», «Методи моделювання електромагнітної обстановки з метою забезпечення емс», «Мослідження впливу електромагнітного поля на провідник» .

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 10.09.2017

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Написання першого розділу	10.06.2018	
	Написання другого розділу	15.07.2018	
	Написання третього розділу	01.08.2018	
	Написання четвертого розділу	10.09.2018	
	Написання п'ятого розділу	09.10.2018	
	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	25.11.2018	
	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	30.11.2018	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

А.М. Березюк  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_  
(підпис)

В.В. Пілінський  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 95 сторінок, 20 рисунків, 28 таблиць, 50 джерел.

**Актуальність роботи.** В сучасних умовах інтенсивного розширення функцій за підвищення чутливості та широкого охоплення діапазонів та смуг частот радіоелектронної апаратури актуальність проблеми забезпечення електромагнітної сумісності неухильно зростає.

**Мета роботи** полягає в формуванні раціонального методу визначення ЕМО задля забезпечення електромагнітної сумісності.

**Завдання для досягнення мети:** визначити склад приладів, застосованих в сучасному вискоєфективному закладі; характеризувати прилади, як рецептори та емітери електромагнітних завад; обрати раціональний метод дослідження електромагнітної обстановки; провести моделювання електромагнітної обстановки

**Об'єктом дослідження** є електромагнітна обстановка у різноманітних приміщеннях та офісах, оснащених високочутливою радіоелектронною апаратурою, що може створювати неумисні електромагнітні завади.

**Предметом дослідження** є радіоелектронне обладнання у приміщенні, насиченому функціональними пристроями різного призначення,

**Методи дослідження:** теоретичні та практичні задля визначення характеристик електромагнітного поля; теорія електричних та електронних кіл – визначення первинних параметрів функціональних вузлів радіоелектронної апаратури.

**Наукова новизна:** застосовано дискретно-ітеративний метод визначення електромагнітної обстановки у приміщенні, обладнаному радіоелектронними та телекомунікаційними приладами; отримало подальший розвиток визначення впливу кабельних мереж в сенсі забезпечення електромагнітної сумісності; удосконалено рекомендації щодо раціонального розташування радіоелектронного обладнання в офісному приміщенні з урахуванням чутливості приладів, емісії електромагнітного поля у навколишньому та кондуктивному середовищах.

**Практичне значення роботи.** Наведені рекомендації сприяють забезпеченню електромагнітної сумісності радіоелектронних приладів та систем різного призначення. Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження — розробка програми впровадження за сприйнятливої електромагнітної обстановки розташування офісної техніки та організація робочих місць в офісах, дослідження електромагнітної сумісності обладнання локальних обчислювальних мереж

**Апробація роботи.** Участь у 3х Всеукраїнських конференціях з публікацією тез доповідей.

.ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ОБСТАНОВКА, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЗАВАДИ, ОФІСНЕ ПРИМІЩЕННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОННЕ ОБЛАДНАННЯ.

## THE SUMMARY

Master's dissertation: 95 pages, 20 illustrations, 28 tables 50 sources.

**Urgency of work.** In today's conditions of intensive expansion of functions for increasing sensitivity and wide coverage of bands and frequency bands of radio-electronic equipment, the urgency of the problem of ensuring electromagnetic compatibility (EMC) is steadily increasing.

**The purpose of the work** is to formulate a rational method for the determination of electromagnetic environment (EMV) in order to ensure EMC.

Tasks for achieving the goal: to determine the composition of devices that are applicable in a modern high-performance institution; to characterize devices like receptors and emitters of electromagnetic interference ; to choose a rational method for studying the EMV.

**The object** of the study is EMV in various premises and offices equipped with high-sensitivity radio-electronic equipment, which can create unintentional electromagnetic interference.

**The subject of the study** is the radio-electronic equipment in the room, saturated with functional devices of various purposes,

**Methods of research:** theoretical and practical in order to determine the characteristics of the electromagnetic field; The theory of electric and electronic circuits - the definition of primary parameters of functional units of electronic equipment.

**Scientific novelty:** a discrete-iterative method for determining the EMV in a room equipped with radio-electronic and telecommunication devices; Has further developed the definition of the influence cable networks in terms of ensuring EMC.

**Practical value of work.** The given recommendations promote the EMC of radio-electronic devices and systems for various purposes. Foreseeable assumptions regarding the development of the research object.

ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT, ELECTROMAGNETIC  
COMPATIBILITY, ELECTROMAGNETIC FACILITIES, OFFICE LOCATION,  
RADIOELECTRONIC EQUIPMENT.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .	8
1 ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО НАСИЧЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ .....	9
1.1 Електромагнітні завади (ЕМЗ) .....	14
1.1.1 Загальна класифікація електромагнітних завад .....	14
1.1.2 Завади, що створюються радіосистемами .....	17
1.2 Необхідність забезпечення електромагнітної сумісності .....	22
2. ВИМОГИ ДО ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕМС .....	26
2.1 Нормативні документи в галузі забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронного обладнання .....	28
2.2 Особливості формування та поширення електромагнітних завад. ....	32
3. ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ .....	40
3.1 Основні методи до визначення електромагнітної обстановки .....	40
3.1.1 Електродинамічний метод .....	40
3.1.2 Енергетичний метод .....	43
3.1.3 Імовірнісний метод .....	48
3.2 Практичні методи дослідження електромагнітної обстановки .....	48
3.2.1 Параметри уземлювального пристрою .....	48
3.2.2 Моніторинг напруги живлення .....	51
3.2.3 Контроль електромагнітних полів комп'ютерної техніки .....	52
3.2.4 Сертифікаційні випробування відеотерміналів та ПЕОМ .....	53
3.2.5 Вимірювання електромагнітних полів від комп'ютерної техніки на робочих місцях .....	54
3.2.6 Апаратура контролю електромагнітних полів на робочих місцях з ПЕОМ .....	56
3.3 Сучасні засоби моделювання електромагнітної обстановки .....	59
4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ В ФУНКЦІОНАЛЬНО НАСИЧЕНОМУ ПРИМІЩЕННІ .....	63
4.1 Моделювання ЕМО в офісному приміщенні дискретно-ітеративним методом .....	63
4.1.1 Планування офісу та задання параметрів .....	63
4.1.2 Моделювання Електромагнітної Обстановки .....	65

4.2 Моделювання кондуктивної емісії .....	72
4.2.1 Постановка задачі та задання параметрів .....	72
4.2.2 Результати.....	75
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	78
5.1 Можливості запуску проекту.....	78
5.2 Технологічний аудит.....	79
5.3 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	79
5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	90

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

FM — frequency modulation,

VHF — very high frequency,

UHF — ultra high frequency,

АМ — амплітудна модуляція,

ВЧ — високі частоти,

ДБЖ — джерело безперервного живлення,

ЕМВ — електромагнітне випромінювання,

ЕМЗ — електромагнітні завади,

ЕМО — електромагнітна обстановка,

ЕМП — електромагнітне поле,

ЕМС — електромагнітна сумісність,

ЕМХ — електромагнітні хвилі,

ЕПТ — електронно-променева трубка,

ЕРС — електрорушійна сила,

ЕСР — електростатичний розряд,

УП — уземлювальний пристрій,

КХ — короткі хвилі,

МП — магнітне поле,

МРТ — мобільний радіотелефон,

ПЕОМ — персональна електронно-обчислювальна машина,

ПЧ — промислова частота,

РЕЗ — радіоелектронні засоби,

РМ — робоче місце,

РПП — радіопередавальний пристрій,

МППЧ — МП промислової частоти



## ВСТУП

Проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) виникла одразу з широким впровадженням радіозв'язку в різні сфери діяльності суспільства [1-10]. З'явилося навіть специфічне завдання розробити спеціальний квазіпіковий детектор з параметрами, наближеними до характеристик слухового апарату людини задля виявлення електромагнітних завад (ЕМЗ) під час прослуховування радіопередач. Проблемні та повсякденні задачі із забезпечення ЕМС, як на стадії проектування дослідного зразка, так і в процесі експлуатації, має розв'язувати кожен спеціаліст з електроніки, який займається на сучасному рівні професійною діяльністю.

Відсутність належної уваги до проблеми ЕМС, або бажання зберегти кошти на стадії проектування системи призводить до більш значних додаткових витрат на стадії доопрацювання або, що зовсім практично безнадійно, – у процесі експлуатації.

Вимоги забезпечення ЕМС охоплюють майже усі електротехнічні, радіоелектронні засоби від іграшок та побутових приладів до різних національних, міжнародних та космічних радіоелектронних систем. Проблема ЕМС охоплює рівні: елементної бази (компонентів) – вузлів – блоків – пристроїв комплексів – систем – міжсистемному рівні.

Конкурентоспроможну на світовому ринку радіоелектронну апаратуру не можна впроваджувати без урахування вимог ЕМС. 1.01.96 р. імplementовано Директиву 89/336 ЕЕС; яку за досвідом застосування оновлено й оприлюднено за номером 2004/108/ЕС й найновішу, впроваджену 2017 року 2014/30/EU [11]. Згідно цієї Директиви на ринок Європи не допускають радіоелектронні та електротехнічні засоби без випробувань стосовно забезпечення ЕМС.

Глобальний характер проблеми ЕМС вимагає компетенції міжнародних установ, наприклад Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) – International electrotechnical commission (IEC); Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) – International Telecommunication Union (ITU) та ін.

Ця проблема є актуальною й на регіональних рівнях. Метою запровадження Директиви є гармонізація регулювання в галузі ЕМС в різних державах – членах ЄС, що дозволяє вільне переміщення технічних засобів на території Європейського Співтовариства, із забезпеченням захисту навколишнього середовища від «забруднення» електромагнітними завадами («електромагнітним смогом»). Окрім Директиви ЕМС 2004/108/ЕС, з 09.03.1999 р. впроваджена Директива 1999/5/ЕС Європейського Парламенту і Ради «Про радіообладнання і телекомунікаційне обладнання і взаємне визнання їх відповідності». Термінологія в галузі ЕМС визначена в Міжнародному електротехнічному словнику (International Electrotechnical Vocabulary – IEV) – глава 161 – Електромагнітна сумісність, який впроваджено в Україні як Національний стандарт: ДСТУ – ІЕС 60050 – 161 «Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність»: 2003 [12]

Наведемо деякі терміни з цього стандарту, необхідні для подальшого сприйняття матеріалу:

- 161-01-07 електромагнітна сумісність; ЕМС (electromagnetic compatibility; ЕМС) – спроможність обладнання чи системи задовільно функціонувати в навколишній електромагнітній обстановці та не створювати недопустимих електромагнітних завад будь-чому в цій обстановці (підкреслено словосполучення, визначення яких наведено як терміни в стандарті);
- 161-01-01 електромагнітна обстановка; ЕМО (electromagnetic environment) – сукупність електромагнітних явищ, наявних у даному місці.
- 161-01-06 електромагнітна завада; ЕМЗ (electromagnetic interference) – електромагнітне збурення, яке погіршує характеристики обладнання, каналу передавання чи системи;
- 161-01-05 електромагнітне збурення (electromagnetic disturbance) – будь-яке електромагнітне явище, яке може погіршити характеристики пристрою, обладнання чи системи або несприятливо вплинути на живу та неживу матерію. \

**Актуальність теми** . З метою порозуміння фахівців, зайнятих проектуванням та експлуатацією радіоелектронної апаратури в сфері ЕМС застосовні декілька сотень міжнародних, регіональних, національних

стандартів. Перелік стандартів, пов'язаних аудіо, відео та деякою електронною апаратурою наведено у переліку літератури [13-26].

У сучасних умовах інтенсивного впровадження телекомунікаційних систем та мереж майже у всі галузі діяльності суспільства за розширення смуг частот, збільшення чутливості апаратури проблема забезпечення електромагнітної сумісності стрімко зростає.

Яскравим прикладом цього положення є, наприклад, публікація [27], де наголошено, що під час впровадження мережі «Інтернету речей (IoT)» однією з найскладніших проблем – є проблема забезпечення електромагнітної сумісності.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Продовження досліджень за ініціативною темою кафедри Звукотехніки та реєстрації інформації «Електромагнітна сумісність аудіо, відео та телекомунікаційних систем» Шифр теми, ФЕЛ 2/2 № 01.13 від 25.01.13 № держреєстрації 0114U002194. Проведено узагальнення методів аналізу характеристик електромагнітного поля.

**Мета роботи** полягає в формуванні раціонального методу визначення ЕМО задля забезпечення електромагнітної сумісності.

**Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:**

- визначити склад приладів, застосованих в сучасному високоефективному закладі для проведення дослідів;
- характеризувати прилади, як рецептори та емітери електромагнітних завад;
- опанувати методи визначення електромагнітної обстановки;
- обрати раціональний метод дослідження електромагнітної

обстановки;

- провести моделювання електромагнітної обстановки в офісі, насиченому радіоелектронною апаратурою різного призначення.

**Об’єктом дослідження** є електромагнітна обстановка у різноманітних приміщеннях та офісах, оснащених високочутливою радіоелектронною апаратурою, що працює у різноманітних діапазонах та смугах частот и може створювати неумисні електромагнітні завади.

**Предметом дослідження** є радіоелектронне обладнання у приміщенні, насиченому функціональними пристроями різного призначення, як емітерами та рецепторами електромагнітних завад.

**Методи дослідження:** технічна електродинаміка задля визначення характеристик електромагнітного поля у ближній та дальній зонах; математичний аналіз для розв’язку хвильового рівняння; теорія електричних та електронних кіл – визначення первинних параметрів функціональних вузлів радіоелектронної апаратури.

**Наукова новизна:**

- застосовано дискретно-ітеративний метод визначення електромагнітної обстановки у приміщенні, обладнаному радіоелектронними та телекомунікаційними приладами;
- отримало подальший розвиток визначення впливу кабельних мереж в сенсі забезпечення електромагнітної сумісності;
- удосконалено рекомендації щодо раціонального розташування радіоелектронного обладнання в офісному приміщенні з урахуванням чутливості приладів, емісії електромагнітного поля у навколишньому та кондуктивному середовищах.

**Практичне значення роботи.** Наведені рекомендації сприяють забезпеченню електромагнітної сумісності радіоелектронних приладів та систем різного призначення.

**Апробація результатів дисертації.**

За результатами роботи наголошено доповіді на Всеукраїнських наукових конференціях:

1. Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі, 25 травня 2017 р. м. Київ.
2. Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі, 25 травня 2018 р., м. Київ.
3. Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем, 26-28 листопада 2018 р. м. Київ.

### **Публікації.**

Оприлюднено тези доповідей конференцій, наведених вище:

- 1) А. Березюк. Визначення електромагнітної обстановки у приміщеннях, оснащених різномірною радіоелектронною апаратурою. м. Київ .25 травня 2017 р.,с. 85-86
- 2) А. Березюк. Методи моделювання електромагнітної обстановки з метою забезпечення ЕМС, м. Київ. 25 травня 2018 р.,с. 45-46
- 3) А. Березюк. Дослідження впливу електромагнітного поля на провідник. м. Київ. 26-28 листопада 2018 р., с. 59-60

# 1 ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО НАСИЧЕНОГО ПРИМІЩЕННЯ

## 1.1 Електромагнітні завади (ЕМЗ)

### 1.1.1 Загальна класифікація електромагнітних завад

Джерела електромагнітних завад можуть бути природного або штучного походження.

Електромагнітні завади спостерігають у всьому спектрі електромагнітних коливань починаючи від мінімальної частоти. Це електростатичний і магнітостатичний вплив стороннього поля на стрілочні вимірювальні прилади, осцилографи і вимірювальні мости, вплив фону змінного струму частотою 50 Гц, ліній електропередач, низькочастотних комунікаційних систем, радіо- і телевізійних передавачів, електромедичної апаратури і пристроїв, радіолокаційної техніки, мікрохвильових печей і космічних джерел. До цього додають вплив численних перехідних процесів в електричних колах різного роду, чиї широкосмугові високочастотні випромінювання охоплюють великі ділянки спектра. Залежно від того, чи виникає електромагнітний вплив при навмисному виробництві і застосуванні електромагнітних хвиль чи вони є паразитними і мають мало спільного з первинною функцією джерела, розрізняють функціональні і нефункціональні джерела завад. [1]

Функціональні джерела - це перш за все радіо- і телепередавачі, які поширюють електромагнітні хвилі через передавальні антени в навколишнє середовище з метою передачі інформації. До цієї групи належать також всі пристрої, які випромінюють електромагнітні хвилі не для комунікативних цілей, наприклад генератори високої частоти для промислового або медичного застосування, мікрохвильові печі, за допомогою пристрою радіоуправління і т. д. [5]

Нефункціональні джерела. До них належать автомобільні пристрої запалювання, люмінесцентні лампи, зварювальне обладнання, релейні і захисні котушки, електричний транспорт, випрямлячі струму, контактні та безконтактні напівпровідникові перемикачі, провідні лінії і компоненти електронних вузлів, переговорні пристрої, атмосферні розряди, коронні розряди, комутаційні процеси в мережах високої напруги, розряди статичної електрики, струми в лабораторіях техніки високих напруг, при проведенні електрофізичних експериментів, технологічному використанні потужних імпульсів і т. д..

У той час як дотримання електромагнітної сумісності функціональних джерел виявляється порівняно простим (їх природа як передавачів найчастіше очевидна з самого початку), то виявлення не функціональних джерел виявляється складним завданням. Їх існування проявляється найчастіше в процесі пошуку причини несподіваного аварійного поведінки приймальної системи. Тому ідентифікація не функціональних джерел завад є важливим завданням при забезпеченні ЕМС. Тільки коли встановлені джерела завад і їх механізми зв'язку, забезпечення електромагнітної сумісності виявляється порівняно простим. [9]

В залежності від середовища поширення ЕМЗ розділяють на індукційні і кондуктивні. Індуктивними називають ЕМЗ, які поширюються в оточуючому середовищі. Кондуктивні ЕМЗ являють собою струми, що течуть по провідникам, елементам конструкції та землі.

Важливими для розуміння індукційних завад в оточуючому середовищі є поняття ближнього поля і дальнього поля.

Розподіл завад на індукційні та кондуктивні є умовним. Реально протікає єдиний електромагнітний процес, який торкається провідникового і непровідникового середовища. У процесі поширення завади можуть перетворюватися з індукційних в кондуктивні і навпаки. Так, змінне електромагнітне поле здатне створювати наведення в кабелях, що далі поширюються як кондуктивні завади. З іншого боку, струми в кабелях і колах заземлення самі створюють електромагнітні поля.

Умовність розподілу завад наочно виявляють, наприклад, в ході аналізу шляху проникнення високочастотних завад усередину електронної апаратури. Часто з'ясовується, що реальний шлях проникнення завади являє собою комбінацію металевих провідників і "доріжок" на платах апаратури ("кондуктивні ділянки") і паразитних ємнісних та індукційних зв'язків ("індукційні ділянки"). В результаті завада досягає високочутливих цифрових контурів апаратури, минаючи захисні елементи, які встановлені в розрахунку на кондуктивний характер завади.

Розподіл завад можна вважати відносно чітким лише в низькочастотній області, коли ємнісні та індуктивні зв'язки зазвичай малі. Однак і тут є виключення — наприклад, точний аналіз розтікання струму через складний заземлювач у землю вимагає обліку як гальванічної, так і електромагнітної складової єдиного процесу. [9]

Кондуктивні завади в колах, що мають більше одного провідника, прийнято також поділяти на завади "провід – земля" — несиметричні, загального виду, і "провід – провід" — симетричні, диференціального виду. Несиметрія зовнішніх кіл ( $Z_{i1} \neq Z_{i2}$ ) і входних кіл апаратури-приймача ( $Z_{i1} \neq Z_{i2}$ ) призводить до появи завади "провід – провід".

Наступні два способи класифікації завад ґрунтуються на їхніх спектральних характеристиках. По-перше, ЕМЗ поділяються на вузькосмугові і широкосмугові. До перших зазвичай відносяться завади від систем зв'язку на несучій частоті, систем живлення змінним струмом і т.п. Їх відмінною рисою є те, що характер зміни завади в часі є синусоїдальним чи близький до нього. При цьому спектр завади близький до лінійчатого (максимальний рівень — на основній частоті, піки меншого рівня — на частотах гармонік).

Широкосмугові завади мають істотно несинусоїдальний характер і зазвичай виявляються у вигляді або окремих імпульсів, або їхньої послідовності. Для періодичних широкосмугових сигналів спектр складається з великого набору піків на частотах, кратних частоті основного сигналу. Для аперіодичних завад спектр є неперервним і описує спектральною щільністю. Типовими широкосмуговими завадами є:



- шум, створюваний у мережі живлення апаратури при роботі імпульсного блоку живлення;
- імпульси від блискавок та грозових розрядів;
- імпульси, створювані при комутаційних операціях;
- електростатичний розряд.

Іншою спектральною характеристикою є область частот, в якій лежить основна частина спектру завади.

### 1.1.2 Завади, що створюються радіосистемами

Радіосистеми створюють електромагнітні поля з нижньою частотою близько сотень кілогерців та верхньою близько десятків гігагерців. Такі поля створюються функціональними джерелами радіозв'язку та побутовими приладами, принцип роботи яких полягає у використанні випромінювання радіочастоти, наприклад телерадіомовні передавачі, апарати зонового зв'язку, радари, мікрохвильові печі, різні експериментальні й іспитові установки і т. і. В деяких випадках завади, аналогічні завадам з боку функціональних джерел, можуть створюватися і лініями дротового зв'язку, які працюють на високій частоті. В таблиці 1.3 зазначені типові значення напруженості електричного поля для основних функціональних джерел.[9]

Індустрійні завади - це електромагнітні явища, спектральні складові яких знаходяться в смузі радіочастот, а джерелами є електричні й електронні пристрої різного призначення. Вони поширюються у відкритому просторі і по дротах та погіршують роботу обладнання й каналів передавання радіосистеми. У відповідності зі стандартами їх джерела поділяються на 11 груп: електропристрої побутового, комунального та іншого призначення, які експлуатуються в житлових приміщеннях або підключаються до їх електромереж (пилососи, холодильники, електропраски, кухонні плити, швейні електромашини, електроінструменти, ліфти, касові апарати тощо)

Таблиця 1.1 — Розподіл радіочастотного спектру[12]

Джерело випромінювання	Діапазон частот, МГц	Потужність передавача, кВт	Типове віддалення від джерела, км	Розрахункове значення напруженості поля, В/м
1	2	3	4	5
НЧ станції радіомовлення і морського зв'язку	0.014...0.5	2500	2...20	5.5...0.55
Широкомовні АМ-станції	0.2...1.6	50...800	0.5...2	12.5...0.78
Радіоаматори (ВЧ)	1.8...30	1	10...100	22.1...2.21
ВЧ-зв'язок разом з КХ-віщанням	1.6...30	0.1	1...20	0.7...0.04
Пристрої особистого і службового радіозв'язку	27...58	0.012	0.01...0.1	2.4...0.24
Радіоаматори, VHF/UHF	50...52 144...146 432...438 1290...1300	1...8 1...8 1...8 1...8	0.01...0.5	63...0.44

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Стаціонарний і мобільний зв'язок	29...40 68...87 146...174 422...432 438...470 860...990	0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13	0.002...0.2	40...0.25
Мобільні телефони (разом з радіотелефонами)	1880...1990	0.005 0.001	0.001...0.1 0.0005...0.0 1	15.6...1.5 6 14...0.7
Телебачення (VHF)	48...68 174...230	100...320	0.5...2	8...1.11*
Віщання на FM	88...108	100	0.25...1	8.9...2.2*
Телебачення (UHF)	470...853	500	0.5...3	10...1.6*
Радари	1000...30000	1...10 ГВт	2...20	350...1.6 (піки)

\* — Зазначена напруженість — тільки всередині променя, створюваного антеною.

На підприємствах найчастіше зустрічаються передавачі локального і мобільного радіозв'язку. Останнім часом з'явилася тенденція до росту використання радіозасобів для забезпечення роботи служб єдиного часу, зв'язку й інших елементів систем автоматизованого керування підприємством. Іноді свій внесок в створення радіозавад вносить робота каналів високочастотного зв'язку по високовольтних лініях (ВЛ), тяговій мережі і трубопроводам. Зазвичай сигнали ВЧ-зв'язку лежать в діапазоні від десятків кілогерців до 1 МГц.

Потрібно пам'ятати, що використання будь-якої частини радіочастотного спектра регулюється відповідними державними органами, тому розміщенню на підприємстві будь-якої радіопередавальної апаратури передую процедура одержання відповідного дозволу. Виконання цієї процедури допомагає вирішити проблему взаємовпливу між різними радіопристроями, але, на жаль, не вирішує її цілком. Дійсно, навіть повний поділ робочих діапазонів частот різних пристроїв зв'язку не гарантує відсутність їхнього впливу один на одного, наприклад, на проміжній частоті. [8]

Як вже зазначалося вище, вплив радіочастотного поля на апаратуру залежить від частоти. На порівняно низьких частотах (орієнтовно до (20...30) МГц) переважає вплив за наведенням кондуктивних завад у зовнішніх колах. Значну роль можуть також відігравати радіочастотні струми, збуджувані в контурах, утворених елементами заземлювального пристрою, і екранами кабелів. На більш високих частотах небезпеку становить також безпосередній вплив полів на внутрішні кола апаратури.

На відміну від імпульсних завад, що зазвичай мають широкосмуговий характер, радіозавади, як правило, вузькосмугові. Виключеннями є, мабуть, лише атмосферні і космічні радіошуми, шуми від корони. Тому вплив радіозавад на апаратуру відбувається за умови співпадання частоти завади й одного з "вікон уразливості" апаратури. Наявність останніх частіше за все зв'язана з робочими частотами апаратури або резонансними частотами тих чи інших її елементів.

Вплив радіозавад у першу чергу становить небезпеку для іншої радіоапаратури (особливо високочутливих приймачів). Однак, завдяки зусиллям відповідних міжнародних і державних органів, випадки збігу робочих частот у різних радіозасобів рідкісні. Набагато частіше виникають ситуації, коли зовнішнє випромінювання має спектр частот, що перетинається з одним із "вікон уразливості", наприклад — проміжною частотою апаратури. Така ситуація часто має місце, наприклад, коли та сама антенна щогла використовується різними радіопередавальними пристроями.

Порівняно уразливої до впливу радіозавад є будь-яка апаратура провідникового зв'язку на високій частоті. Це стосується, зокрема, швидкісних цифрових ліній зв'язку і магістралей локальних обчислювальних мереж. Причому при збільшенні частоти передачі проблема ЕМС стає однією з основних для систем зв'язку.

Збої цифрової апаратури під дією радіочастотних полів часто пов'язані з незадовільними екрануючими властивостями корпусу або неправильною схемою заземлення апаратури й екранів.

Випадки фізичного ушкодження апаратури під дією радіозавад порівняно рідкісні. Зазвичай такого роду ушкодження спостерігаються у високочутливих приймачів, які з тієї чи іншої причини знаходяться поруч з потужним джерелом радіочастотного випромінювання.

Розглянемо можливий вплив радіочастотних електромагнітних полів засобів зонового зв'язку на їхнього користувача. Основними елементами системи зонового зв'язку є базові станції (БС) і мобільні радіотелефони (МРТ). Базові станції підтримують радіозв'язок з мобільними радіотелефонами, унаслідок чого БС і МРТ є джерелами електромагнітного випромінювання в УВЧ діапазоні.[26]

Важливою особливістю системи зонового радіозв'язку є дуже ефективно використання виділюваного для роботи системи радіочастотного спектра (багаторазове використання тих самих частот, застосування різних методів доступу), що уможливорює забезпечення телефонним зв'язком значного числа абонентів. У роботі системи застосовується принцип розподілу деякої території на зони, чи зони, радіусом зазвичай 0.5–10 кілометрів. Деякі технічні характеристики систем зонового радіозв'язку наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.2 — Короткі технічні характеристики систем зонавого радіозв'язку[15]

Найменування стандарту	Діапазон робочих частот БС, МГц	Діапазон робочих частот МРТ, МГц	Максимальна випромінювана потужність БС, Вт	Максимальна випромінювана потужність МРТ, Вт	Радіус зони, км
NMT-450 аналоговий	463...467.5	453...457.5	100	1	1...40
AMPS аналоговий	869...894	824...849	100	0.6	2...20
D-AMPS (IS-136) цифровий	869...894	824...849	50	0.2	0.5...20
CDMA цифровий	869...894	824...849	100	0.6	2...40
GSM-900 цифровий	925...965	890...915	40	0.25	0.5...35
GSM-1800 (DCS) цифровий	1805...1880	1710...1785	20	0.125	0.5...35

## 1.2 Необхідність забезпечення електромагнітної сумісності

Електромагнітна сумісність (ElectroMagnetic Combatibility - EMC) - це здатність електрообладнання задовільно функціонувати в умовах електромагнітних впливів з боку навколишнього середовища, а також не чинити неприпустимого впливу на цю навколишнє середовище, яка включає в себе інше електрообладнання.[3]

Останнім часом пильна увага приділяється питанням забезпечення електромагнітної сумісності електронних пристроїв і модулів з їх окремими вузлами і компонентами.

Зростання вимог до подальшого поліпшення характеристик електромагнітної сумісності обумовлений тим, що область застосування електронних пристроїв постійно розширюється. Системні рішення на основі мікроелектроніки і полупровідникової електроніки застосовуються у всіх сферах промисловості, домашнього господарства і на транспорті. В даний час оцінка продукції з точки зору ЕМС необхідна в ще більшому ступені, ніж на ранніх етапах розвитку електроніки [10].

Основні поняття електромагнітної сумісності містять вплив як випромінюваних, так і кондуктивних завад (наведення), що поширюються по провідникам (наприклад, наведення по колах живлення), а також чутливість електрообладнання до впливу завад (стійкість). При цьому характеристики електромагнітної сумісності можуть визначати в смузі частот до 400 ГГц.

Одним з напрямків забезпечення ЕМС на різних рівнях є створення і дотримання системи стандартних вимог до різних характеристиках РЕМ, впливають на ЕМС. Зазначені вимоги спрямовані на обмеження рівнів завад, створюваних різним обладнанням, ослаблення схильності РЕМ дії ненавмисних завад і раціональне використання радіочастотного ресурсу. Метою стандартизації та нормування характеристик ЕМС РЕЗ є створення ситуації, коли більша частина НЕМП буде усунена або хоча б значно ослаблена за допомогою апаратури, що задовольняє зазначеним нормам і стандартам.

Наявність стандартних вимог до різних параметрів апаратури, що впливає на ЕМС, полегшує вирішення завдань аналізу, так як в якості вихідної інформації можуть використовуватися відповідні нормовані значення цих параметрів. Нормування характеристик широкого кола радіоелектронних, електронних та електротехнічних приладів грає важливу роль в підвищенні якості продукції при створенні нової техніки.

Стандарти в області забезпечення ЕМС визначають вимоги до характеристик як вже існуючої апаратури, так і розробляється, створюваної на тривалі терміни експлуатації. Тому нормативно-технічна документація (НТД) в області ЕМС повинна охоплювати вимогами ряд показників апаратури з урахуванням перспектив її використання. Ця НТД має характерні відмінності від стандартів, що закріплюють вже досягнутий рівень. Стандартні вимоги, норми і рекомендації в галузі ЕМС мають випереджувальний характер і встановлюють показники, які в подальшому стануть обов'язковими для виробів, що розробляються і освоєваних виробництвом [11].

При функціонуванні РЕМ виникає можливість появи небажаних електромагнітних зв'язків, які визначаються характеристиками апаратури, не пов'язаними з основним функціональним призначенням даного засобу. Тому нормуванням крім основних характеристик повинні охоплюватися також і характеристики, що впливають на ЕМС, наприклад рівні побічних випромінювань передавачів, рівні завад, створюваних пристроєм в колах електроживлення тощо.

Розробка і впровадження норм і стандартів є суттєвим кроком у практиці забезпечення ЕМС РЕЗ. Уніфікація норм на технічні характеристики РЕЗ всіх видів і призначень, єдині методичні вказівки по вимірам, єдині вимоги до вимірювальних приладів, охоплення нормуванням великого числа параметрів РЕЗ,

впливають на ЕМС, введення для них більш жорстких норм являють собою основу для необхідних технічних і організаційних рішень в області ЕМС РЕЗ.

Стандарти в галузі ЕМС створюються за результатами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, які обґрунтовують і підтверджують можливість і доцільність випуску та експлуатації виробів з новими технічними характеристиками.

Відбір характеристик, що істотно впливають на ЕМС РЕЗ, базується на аналізі можливих причин виникнення завад і шляхів їх впливу, оцінці характеру і ступеня впливу, визначених у результаті даного аналізу характеристик на ЕМС РЕЗ. Оцінка технічної можливості та доцільності нормування проводиться на



основі вивчення відповідних технічних методів, аналізу кращих світових і вітчизняних досягнень.

## Висновки

Забезпечення ЕМС представляє складну технічну задачу, для вирішення якої не існує універсальних засобів та заходів. Більш того, у зв'язку з комплексним характером проблеми, цю задачу можливо ефективно розв'язати тільки із застосуванням інженерно-обґрунтованих заходів та засобів різного характеру, які повинні реалізовуватися на всіх етапах – від стадії проектування до стадії експлуатації.

Проблеми ЕМС, що стосуються апаратів, які використовують у складі того чи іншого приміщення, необхідно вирішувати у кожному окремому випадку шляхом співпраці між виробниками пристроїв, користувачами і в деяких випадках компаніями, що укладають контракт на монтаж установки. Об'єднана експертиза питань ЕМС цими сторонами, дозволить забезпечити правильну роботу установки з дотриманням гранично-допустимих значень параметрів ЕМО.

## 2. ВИМОГИ ДО ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕМС

У зв'язку з актуальністю проблеми ЕМС, велику увагу приділяють нормативній базі на міжнародному, регіональному та національному рівнях. У світі діє ряд стандартів, що регламентують рівні емісії та несприйнятливості до електромагнітних завад, однак вибір стандарту для сучасних високотехнологічних виробів може бути неоднозначним.

Проблемі забезпечення ЕМС досить давно приділяють увагу, зокрема, у таблиці 3.1 наведено допустимий рівень радіозавад, що створюють електропрогравачі та магнітофони [5].

В Україні нормативне регулювання здійснюється розвинутою системою стандартів. Сучасні вітчизняні стандарти, розроблені з урахуванням відповідних міжнародних стандартів[16-25].

Таблиця 2.1 – Загальні норми допустимих радіозавад від радіоелектроніки.

Діапазон частот, МГц	Допустимий рівень			
	Напруга радіозавад на мережних затискачах		Напруженість поля радіозавад на відстані 3м.	
	мкВ	дБ	мкВ/м	дБ
Від 0,15 до 0,5	1000	60	-	-
Понад 0,5 до 2,5	400	52	200	46
Понад 2,5 до 30	400	52	200	46
Понад 30 до 300	400	52	64.....200*	36..... 46

*Примітки:*

\*) Понад 30 МГц – 64 мкВ/м, при 300 МГц – 200 мкВ/м, зростання лінійне

Якщо не існує стандарту з ЕМС, який визначає норми на несприйнятливості і емісію, що поширюється для відповідної групи однотипних виробів або виробу конкретного виду, у цьому випадку

використовують родові стандарти. Радіоелектронне обладнання повинне відповідати нормам для обладнання, застосовуваного в зонах торгівлі, комерційних зонах і виробничих зонах з малим енергоспоживанням.

Контроль рівнів електричних і магнітних полів цифрової та аналогової телекомунікаційної апаратури повинен бути здійснений за дворівневою системою. На першому рівні контроль відповідності обладнання національним або міжнародним вимогам безпеки, виконують за заявкою виробника або продавця даного обладнання, шляхом проведення сертифікаційних випробувань у спеціалізованих акредитованих лабораторіях. На другому рівні обладнання варто перевіряти на відповідність санітарно-гігієнічним вимогам, безпосередньо на робочих місцях або в аналогічних їм умовах.

Існує цілий ряд особливостей між вимірюваннями виконаними у випробувальній лабораторії і випробуваннями систем і установок на місці їх експлуатації. Великий об'єм інформації (включаючи діючі міжнародні стандарти) доступний в застосуванні до сертифікаційних випробувань технічних засобів у спеціальних лабораторіях, проте не охоплюючий увесь комплекс питань, що регламентують спеціальні вимоги до випробувань систем і установок на місці їх експлуатації.

Сертифікаційні випробування не дають однозначної і повної картини, через те, що не можуть бути враховані можливі комбінації комплектуючих пристроїв, їх взаємне розташування та кабельні з'єднання. Таким чином, стає очевидним, що результати вимірювань безпосередньо на робочих місцях можуть істотно відрізнятись від результатів отриманих при випробуваннях в сертифікаційних лабораторіях.[20]

Якщо повна та об'єктивна характеристика погіршення якості функціонування обладнання при випробуваннях на завадостійкість утруднена, то якість функціонування може бути оцінена з використанням процедури суб'єктивної оцінки. Зазначена процедура включає два етапи - етап ідентифікації недостатньої завадостійкості обладнання, і при необхідності, етап більш формальних випробувань із використанням експертної оцінки.

Про актуальність теми свідчить формування Товариством інженерів

акустиків (AES) робочої групи SC-05-05 для розробки стандартів з ЕМС для телекомунікаційного обладнання.

## 2.1 Нормативні документи в галузі забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронного обладнання

У зв'язку з актуальністю проблеми ЕМС, велику увагу приділяють нормативній базі на міжнародному, регіональному та національному рівнях.

У світі діє ряд стандартів, що регламентують рівні емісії та несприйнятливості до електромагнітних завад, однак вибір стандарту для сучасних високотехнологічних виробів може бути неоднозначним.

Проблемі забезпечення ЕМС досить давно приділяють увагу, зокрема, у таблиці 2.1 наведено допустимий рівень радіозавад, що створюють електропрогравачі, магнітофони тощо [5].

В Україні нормативне регулювання здійснюється розвиненою системою стандартів. Сучасні вітчизняні стандарти, розроблені з урахуванням відповідних міжнародних стандартів. Деякі з них наведено в таблиці 2.2 [6-20].

Таблиця 2.2 – Загальносоюзні норми допустимих радіозавад від кінопроекторів, електропрогравачів та магнітофонів .

Діапазон частот, МГц	Допустимий рівень			
	Напруга радіозавад на мережних затискачах		Напруженість поля радіозавад на відстані 3м.	
	мкВ	дБ	мкВ/м	дБ
Від 0,15 до 0,5	1000	60	-	-
Понад 0,5 до 2,5	400	52	200	46
Понад 2,5 до 30	400	52	200	46
Понад 30 до 300	400	52	64.....200*	36..... 46

*Примітки:*

\*) Понад 30 МГц – 64 мкВ/м, при 300 МГц – 200 мкВ/м, зростання лінійне

У таблиці 2.2 наведено деякі стандарти в області ЕМС, що регламентують електромагнітну обстановку з вказівкою області застосування конкретного стандарту, відомостей щодо обладнання, що підпадає під дію даного стандарту, умов випробування, даних стосовно: допустимого рівня завад, флуктуації напруги та флікера, норм гармонік струму виникаючих у мережі живлення, норм на випромінювання та несприйнятливості, та ін.

Таблиця 2.3 – Стандарти в області ЕМС, що регламентують електромагнітну емісію радіоелектронної апаратури

Тип обладнання	Деякі дані зі стандарту		
1	2		
Професійна аналогова та цифрова аудіо-, відео-, аудіовізуальна апаратура та апаратура управління світловими приладами.	ДСТУ 4210:2003 [6] - установлює вимоги до емісії. Порт корпус: радіочастотні електромагнітні поля 30 МГц - 1000 МГц. Метод А 30 МГц-230 МГц; 30 дБ (мкВ/м) на відстані 10 м 300 МГц-1000 МГц; 37 дБ (мкВ/м) на відстані 10 м Порт корпус: магнітні поля 50 Гц - 500 кГц, вимірювані на відстані 10 см. 50Гц-500Гц: 4 А/м - 0,4 А/м		
	ДСТУ 4211:2003 [7] - встановлює вимоги до несприйнятливості: Порти сигнальні та управління: швидкі перехідні процеси, напруга (несиметрична). 0,5 кВ (пікове значення) [критерій якості функц. В]		
Обладнання, що не підпадає під дію стандартів з ЕМС щодо несприйнятливості та емісії, що поширюється на групи однотипних виробів або виробів конкретного виду (родові стандарти).	ДСТУ ІЕС 61000-6-1:2007 [8] - нормування несприйнятливості: Порти сигнальні:		
	Явища електромагнітного оточення	Технічні вимоги до випробування	Критерій якості функціонування
	Радіочастотні несиметричні	0,15 - 80 МГц 3В 80 % АМ (1 кГц)	А
Звукові мовні приймачі, телевізійні приймачі та підключене до них	ДСТУ ІЕС 61000-6-3:2007 [9] – нормування емісії.		
	ДСТУ EN 55013:2004 [10] - установлює норми та методи виміру електромагнітних завад, у частотному діапазоні від 9 кГц до 18 ГГц.		

Продовження табл. 2.3

1	2																				
обладнання призначене для генерації або відтворення аудіо- або відеоінформації.	Норми напруги завад на антенних з'єднувачах:																				
	<table><tr><td>Тип обладнання</td><td>Джерело</td><td>Діапазон частот, МГц</td><td>дБ (мкВ), 75 Ом Квазіпікове значення</td></tr><tr><td rowspan="3">Телевізійні та звукові приймачі, супутникового мовлення: блоки тюнера</td><td>Гетеродин</td><td>30-950</td><td>46</td></tr><tr><td rowspan="2">Інше</td><td>950-1750</td><td>54</td></tr><tr><td>30-1750</td><td>46</td></tr></table>	Тип обладнання	Джерело	Діапазон частот, МГц	дБ (мкВ), 75 Ом Квазіпікове значення	Телевізійні та звукові приймачі, супутникового мовлення: блоки тюнера	Гетеродин	30-950	46	Інше	950-1750	54	30-1750	46							
	Тип обладнання	Джерело	Діапазон частот, МГц	дБ (мкВ), 75 Ом Квазіпікове значення																	
Телевізійні та звукові приймачі, супутникового мовлення: блоки тюнера	Гетеродин	30-950	46																		
	Інше	950-1750	54																		
		30-1750	46																		
Освітлювальне та допоміжне обладнання	<p>ДСТУ CISPR 15 [23] - установлює норми й методи виміру характеристик радіозавад.</p> <p>Норми випромінюваних електромагнітних завад:</p> <p>Квазіпікові значення норм магнітної складової напруженості поля випромінюваної завади в діапазоні частот від 9 кГц до 30 МГц, виміряні із застосуванням рамкової антени діаметром 2м (обладнання, за довжиною не перевищує 1,6 м).</p> <table><tr><th rowspan="2">Діапазон частот, МГц</th><th colspan="2">Норми для антен діаметром 2 м</th></tr><tr><th colspan="2">дБ (мкА)</th></tr><tr><td>9 кГц -70 кГц</td><td colspan="2">88</td></tr><tr><td>70 кГц -150 кГц</td><td colspan="2">88 – 58*)</td></tr><tr><td>150 кГц -2,2 МГц</td><td colspan="2">58 – 26*)</td></tr><tr><td>2,2 МГц -3 МГц</td><td colspan="2">58</td></tr><tr><td>3,0 МГц - 30 МГц</td><td colspan="2">22</td></tr></table> <p>*) Спадає лінійно залежно від логарифма частоти</p>	Діапазон частот, МГц	Норми для антен діаметром 2 м		дБ (мкА)		9 кГц -70 кГц	88		70 кГц -150 кГц	88 – 58*)		150 кГц -2,2 МГц	58 – 26*)		2,2 МГц -3 МГц	58		3,0 МГц - 30 МГц	22	
Діапазон частот, МГц	Норми для антен діаметром 2 м																				
	дБ (мкА)																				
9 кГц -70 кГц	88																				
70 кГц -150 кГц	88 – 58*)																				
150 кГц -2,2 МГц	58 – 26*)																				
2,2 МГц -3 МГц	58																				
3,0 МГц - 30 МГц	22																				
Обладнання, основною функцією якого є введення, зберігання, відображення, пошук, передача, обробка, комутація або управління даними та повідомленнями	<p>ДСТУ CISPR 22 [24]- область застосування дійсного стандарту охоплює всю смугу радіочастот від 9 кГц до 400 ГГц, однак норми й методи вимірювання індустриальних радіозавад наведено лише в смузі частот від 0,15 МГц до 1000 МГц.</p> <p>Норми напруги індустриальних радіозавад на мережних затискачах обладнання інформаційних технологій класу А:</p> <table><tr><th rowspan="2">Діапазон частот , МГц</th><th colspan="2">дБ (мкВ)</th></tr><tr><th>Квазіпікові значення</th><th>Середнє значення</th></tr><tr><td>0,15–0,5</td><td>79</td><td>66</td></tr><tr><td>0,5–30</td><td>73</td><td>60</td></tr></table>	Діапазон частот , МГц	дБ (мкВ)		Квазіпікові значення	Середнє значення	0,15–0,5	79	66	0,5–30	73	60									
Діапазон частот , МГц	дБ (мкВ)																				
	Квазіпікові значення	Середнє значення																			
0,15–0,5	79	66																			
0,5–30	73	60																			
Обладнання з номінальною силою струму більше 16А в фазі	ДСТУ IEC/TR2 61000-3-5:2004 [25] – нормує флуктуації напруги та флікер у мережі загального призначення.																				

Продовження табл. 2.3

1	2		
Обладнання з номінальною силою струму до 16А в фазі	ДСТУ EN 61000-3-3:2004 [26] -нормує флуктуації напруги та флікер у мережі загального призначення. Показник довгострокового флікера $P_{lt} \leq 1$ ;		
Обладнання з номінальною силою струму до 16 А в фазі	ДСТУ ІЕС 61000-3-2 - 2005 [24] - нормування гармонік струму виникаючих у мережі живлення. Норми для обладнання класу А:		
	Порядок гармоніки, n		Максимальна сила струму гармоніки, А
	2		1,08
	3		2,3
Джерела електроживлення, виконані як самостійні прилади, сила струму споживання яких не перевищує 100 А.	ДСТУ 3593-97 [20] – установлює методи випробувань на кондуктивні радіозавади, що поширюються від джерел електроживлення в частотному діапазоні від 10 кГц до 30 МГц (використається при вимірі рівня напруг кондуктивних радіозавад на вході й виході джерела електроживлення).		
Аудіопідсилювачі, CD-програвачі, декодери	ДСТУ EN 55020:2003 [17] – встановлює вимоги до несприйнятливості в діапазоні від 0 Гц до 400 ГГц.		
Активне та пасивне обладнання систем прийому, обробки та розподілу сигналів телевізійного та звукового мовлення	ДСТУ 4197:2003 [18] встановлює норми на випромінювання та несприйнятливість. Норма несприйнятливості до сигналів зображення у вигляді коефіцієнту ослаблення сигналу зображення в частотному діапазоні 950-3000 МГц становить 40 дБ.		
Кабельні розподільні системи передачі сигналів телевізійного та звукового мовлення і сигналів інтерактивних мультимедійних служб	ДСТУ 4205:2003 [19] - встановлює норми на випромінювання і несприйнятливість. Норми на випромінювання:		
	Діапазон частот, МГц	Максимальний рівень	
		Потужність випромінювання, дБ (пВт)	Напруженість поля, дБ (мкВ/м)
		30–1000	20

В чинних міжнародних стандартах та нормативних документах, для класифікації впливу ЕМЗ за ступенями ураження приладів, використовують критерії якості функціонування апаратури. В таблиці 2.3 наведено приклади із стандартів де зазначені деякі критерії якості функціонування приладів, ці критерії застосовують для формалізації опису роботи апаратури під дією завад.

## 2.2 Особливості формування та поширення електромагнітних завад.

Відповідно з національним стандартом України ДСТУ - ІЕС 60050 – 161 [12], **електромагнітна сумісність; ЕМС** (electromagnetic comptiability; EMC) – це спроможність обладнання чи системи задовільно функціонувати в навколишній електромагнітній обстановці та не створювати недопустимих електромагнітних завад будь-чому в цій обстановці.

Таким чином з визначення поняття ЕМС випливає, що ця проблема має два складника (рис. 2.1).

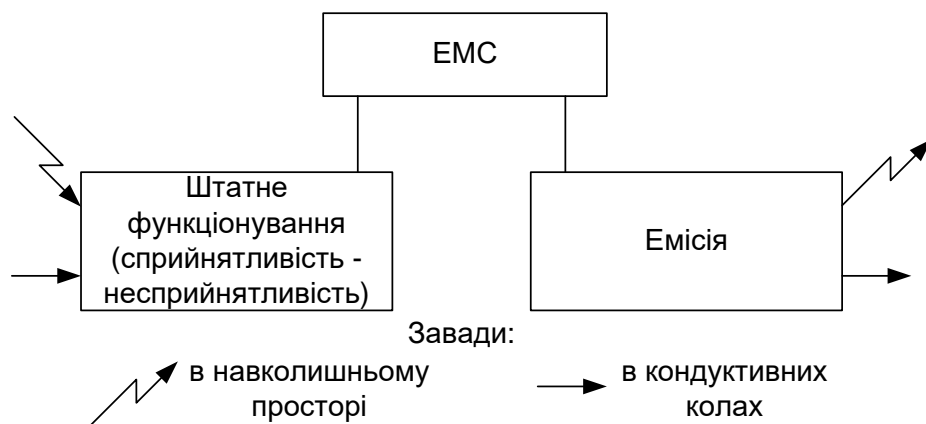


Рисунок 2.1 – Узагальнене представлення проблем ЕМС

*Перший* – це забезпечення штатного функціонування апаратури в умовах завад або проблема забезпечення несприйнятливості (immunity) апаратури.

**Несприйнятливість (до збурення)** (immunity (to a disturbance)) – здатність пристрою, обладнання або системи функціонувати без погіршення якості робочих характеристик за наявності електромагнітного збурення [12];

*Другий* – це забезпечення такого стану, коли завади, які створює апаратура і поширює через навколишній простір та провідні елементи (кабелі, шасі, уземлювальні пристрої та ін.) не перевищують допустимих рівнів, тобто це проблема емісії (emission) (рис. 2.2).



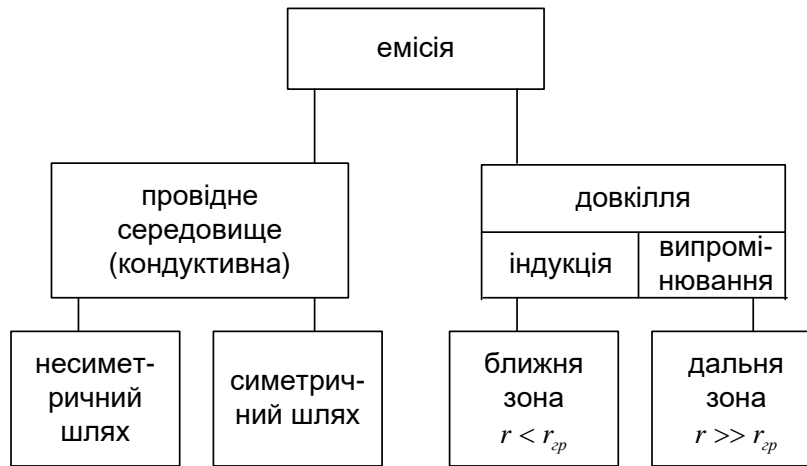


Рисунок 2.2 – Види та середовище емісії

**Електромагнітна емісія** (electromagnetic emission) – електромагнітне явище, за якого електромагнітна енергія сходить від джерела [1];

Процес взаємного електромагнітного впливу технічних засобів в кіноконцертному комплексі пов'язаний з трьома компонентами:

- джерелом електромагнітного впливу;
- шляхами поширення впливу;
- рецептором (об'єктом впливу).

Технічні засоби в кіноконцертному комплексі, робота яких пов'язана з використанням електротехнічних й електронних елементів, формують взаємний електромагнітний вплив через навколишнє середовище та внаслідок існування між ними кондуктивних зв'язків. Цей вплив відображається у виникаючій під час спільної роботи зміні напруг і струмів у колах та напруженостей електричного та магнітного полів в навколишньому просторі. Якщо такий вплив перевершує рівні, допустимі для кожного з них, то нормальне функціонування технічних засобів порушується. Відбуваються або тимчасові порушення режиму роботи (збої) пристроїв, або неприпустимі необоротні зміни їхніх параметрів (вихід з ладу). [35]

Будь-який технічний пристрій у загальному випадку може бути джерелом ЕМЗ для інших пристроїв й одночасно бути рецептором ЕМЗ відносно електромагнітних впливів інших пристроїв. Технічні засоби кіноконцертного комплексу працюють спільно. Кожен рецептор перебуває під спільним електромагнітним впливом ряду інших засобів. Сукупність одночасно існуючих

електромагнітних впливів на рецептор визначає ЕМО, у якій він повинен функціонувати. Прогнозування та визначення ЕМО, що залежить від впливу декількох і тим більше багатьох ДЗ, є складним завданням.

Однією із причин зниження ефективності обладнання кіноконцертного комплексу є тимчасові втрати роботоздатності внаслідок сприйнятливості вузлів і пристроїв до електромагнітних завад.

Як відомо, обладнання кіноконцертного комплексу містить у собі пристрої, що містять вузли та елементи різних типів - електронні, електромеханічні, силові, які в усталених і перехідних режимах роботи є джерелами інтенсивних електромагнітних завад.

В узагальненому виді джерела, шляхи поширення та наслідки впливу ЕМЗ на радіоелектронне та кінопроекційне обладнання представлено на рис.

2.3. [1]

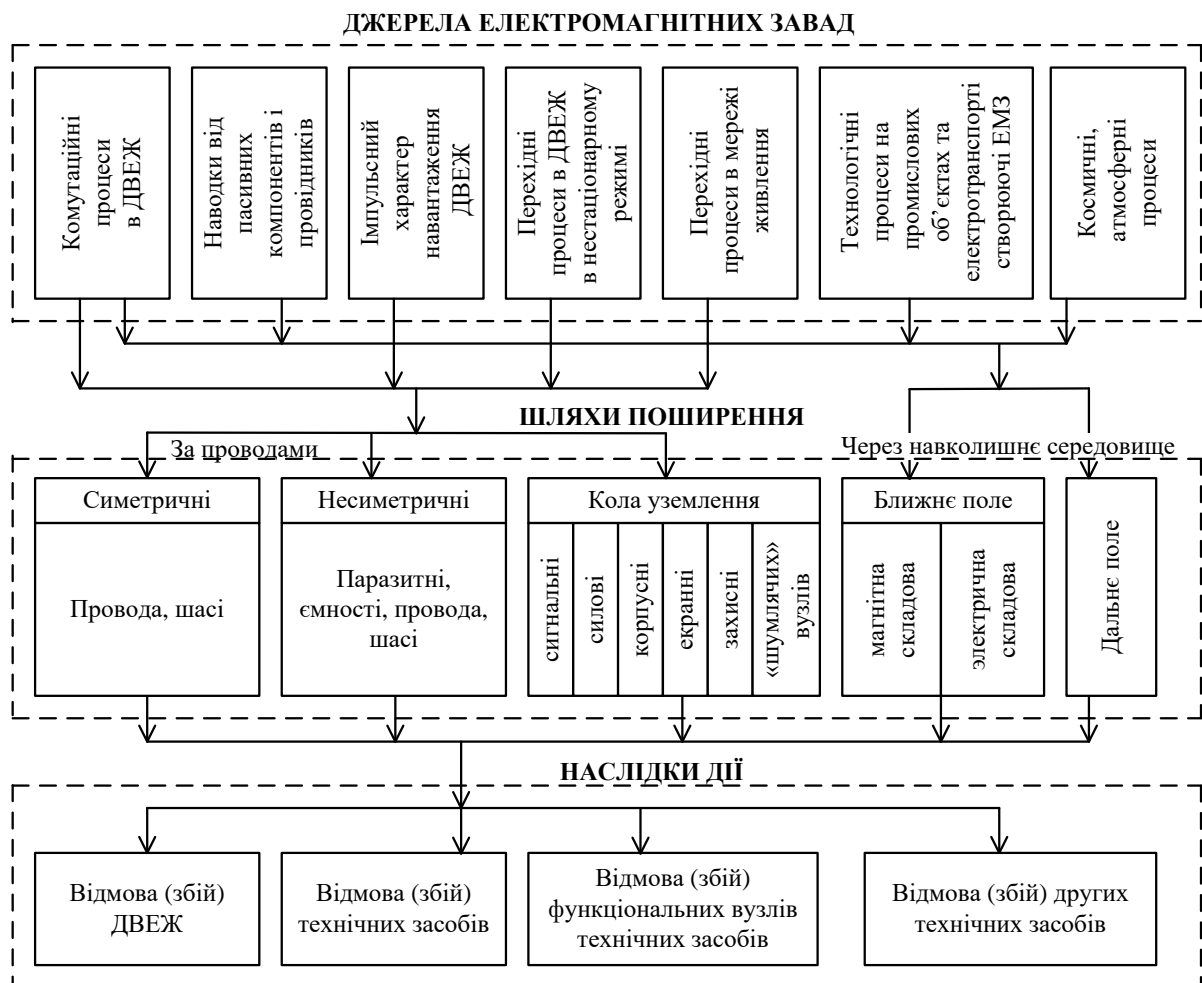


Рисунок 2.3 – Джерела, шляхи поширення та наслідки впливу ЕМЗ на радіоелектронне та кінопроекційне обладнання[17]

Причиною створення електромагнітних завад є взаємний вплив активних і пасивних елементів, вузлів і пристроїв систем вторинного електроживлення та обладнання кіноконцертного комплексу в процесі їх роботи, що може бути причиною збоїв і відмов цих пристроїв.

Причини виникнення завад у вузлах і радіоелектронних пристроях різні: періодичне імпульсне або змінне за характером навантаження; нестаціонарні комутаційні режими (вмикання, вимикання, коротке замикання та ін.); комутаційні перехідні процеси, що виникають під час перемикавання транзисторів перетворювачів, діодів височастотного випрямляча та інших елементів; гармонічні складники випрямленої напруги (струму), що призводять до спотворення форми напруги живильної мережі та виникненню гармонічних складників; наведення від зовнішніх електромагнітних полів і ін. фактори та явища наведені на рис. 2.3.

Крім того ЕМЗ можуть виникати як наслідок зовнішнього електромагнітного впливу. Атмосферні та космічні процеси - це наслідок природних процесів, що відбуваються в природі: грозових розрядів, сонячної радіації, космічних випромінювань, магнітної бурі. Найбільш істотні завади можуть виникати при грозових розрядах, тому що блискавка створює сильне електромагнітне поле, що призводить до значної зміни напруги в лініях електропередачі при порушенні їх ізоляції. При влучанні блискавки поблизу апаратури або її провідникових комунікацій виникають сильні імпульсні завади в інформаційних і антенних колах, а також колах живлення.

Міжнародна Електротехнічна Комісія (ІЕС) та інші організації дослідили розряд блискавки та прийняли такі параметри імпульсу, який імітує грозову заваду:

- ширина переднього фронту імпульсу – 1.2 мкс;
- загальна ширина імпульсу – 50 мкс;
- амплітуда – до 6 кВ;
- внутрішній опір джерела ( 2 або 4 Ом).

Внаслідок високої енергії і значній напрузі імпульсу, його вплив на апаратуру часто виявляється руйнівним. Зазвичай вибувають з ладу інтерфейсні елементи і блоки живлення.

Радіосистеми створюють електромагнітні поля з нижньою частотою близько сотень кілогерців та верхньою близько десятків гігагерців. Такі поля створюються функціональними джерелами радіозв'язку та побутовими приладами, принцип роботи яких полягає у використанні випромінювання радіочастоти, наприклад телерадіомовні передавачі, апарати зонового зв'язку, радари та ін. В таблиці 3.1 зазначені типові значення напруженості електричного поля для основних функціональних джерел.

В офісних приміщеннях найчастіше зустрічаються передавачі локального і мобільного радіозв'язку. Останнім часом з'явилася тенденція до росту використання радіозасобів для забезпечення роботи служб єдиного часу, зв'язку та інших елементів систем автоматизованого керування підприємством. Зазвичай сигнали ВЧ-зв'язку лежать в діапазоні від десятків кілогерців до 1 МГц.[29]

Потрібно пам'ятати, що використання будь-якої частини радіочастотного спектра регулюється відповідними державними органами, тому розміщенню на території комплексу будь-якої радіопередавальної апаратури передують процедура одержання відповідного дозволу. Виконання цієї процедури допомагає вирішити проблему взаємовпливу між різними радіопристроями, але, на жаль, не вирішує її цілком. Дійсно, навіть повний розподіл робочих діапазонів частот різних пристроїв зв'язку не гарантує відсутність їх впливу один на одного, наприклад, на проміжній частоті.

Вплив радіочастотного поля на апаратуру залежить від частоти. На частотах (орієнтовно до 20...30 МГц) переважає вплив за наведенням кондуктивних завад у зовнішніх колах. Помітну роль можуть також відігравати радіочастотні струми, збуджувані в контурах, утворених елементами уземлювального пристрою, і екранами кабелів. На більш високих частотах небезпеку становить також безпосередній вплив полів на внутрішні кола апаратури.

На відміну від імпульсних завад, що зазвичай мають широкосмуговий характер, радіозавади, як правило, вузькосмугові. Винятком є лише атмосферні і космічні радіошуми. Тому вплив радіозавад на апаратуру відбувається за умови співпадіння частоти завади й одного з "вікон уразливості" апаратури. Наявність останніх частіше за все зв'язана з робочими частотами апаратури або резонансними частотами тих чи інших її елементів.

Таблиця 2.4 — Типовий розподіл РЧ спектру[17]

Джерело випромінювання	Діапазон частот, МГц	Потужність передавача, кВт	Типове віддалення від джерела, км	Розрахункове значення напруженості поля, В/м
НЧ станції радіомовлення і морського зв'язку	0.014...0.5	2500	2...20	5.5...0.55
Широкомовні АМ-станції	0.2...1.6	50...800	0.5...2	12.5...0.78
Радіоаматори (ВЧ)	1.8...30	1	10...100	22.1...2.21
ВЧ-зв'язок разом з коротко-хвильовим мовленням	1.6...30	0.1	1...20	0.7...0.04
Пристрої особистого і службового радіозв'язку	27...58	0.012	0.01...0.1	2.4...0.24
Радіоаматори, VHF/UHF	50...52 144...146 432...438 1290...1300	1...8 1...8 1...8 1...8	0.01...0.5	63...0.44
Стационарний і мобільний зв'язок	29...40 68...87 146...174 422...432 438...470 860...990	0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13 0.05...0.13	0.002...0.2	40...0.25
Мобільні телефони (разом з радіотелефонами)	1880...1990	0.005 0.001	0.001...0.1 0.0005...0.01	15.6...1.56 14...0.7
Телебачення (VHF)	48...68 174...230	100...320	0.5...2	8...1.11*
Мовлення на FM	88...108	100	0.25...1	8.9...2.2*
Телебачення (UHF)	470...853	500	0.5...3	10...1.6*
Радари	1000...30000	1...10 ГВт	2...20	350...1.6 (піки)

Примітка:

\*) Зазначена напруженість – тільки всередині променю, створюваного антеною.

Вплив радіозавад у першу чергу становить небезпеку для іншої радіоапаратури (особливо високочутливих приймачів, наприклад мікрофонів). Однак, завдяки зусиллям відповідних міжнародних і державних органів, випадки збігу робочих частот у різних радіозасобів рідкісні. Набагато частіше виникають ситуації, коли зовнішнє випромінювання має спектр частот, що перетинається з одним із "вікон уразливості", наприклад – проміжною частотою апаратури. Така ситуація часто має місце, наприклад, коли та сама антенна використовується різними радіопередавальними пристроями.

Порівняно уразливою до впливу радіозавад є будь-яка апаратура провідникового зв'язку на високій частоті. Це стосується, зокрема, швидкісних цифрових ліній і магістралей локальних обчислювальних мереж кіноконцертного комплексу.

Збої цифрової апаратури під дією радіочастотних полів часто пов'язані з незадовільними екрануючими властивостями корпусу або неправильною схемою уземлення апаратури та екранів.

Електромагнітні завади поширюються від джерела завад до приймача двома способами - кондуктивним (проводина, шасі та корпусу пристроїв, шини уземлення, екрани, обплетення та ін.) і через навколишній простір.

Завади можуть проникати через ДВЕЖ і загальний уземлювальний контур кондуктивним способом через кола електроживлення. Наприклад, високочастотні завади первинної мережі проникають на вихід ДВЕЖ через паразитні міжобмотувальні ємності розділових трансформаторів, міжвиткові ємності дроселів фільтрів, з'єднувальні провода. По цих колах і уземлювальному контуру також циркулюють струми від ключових каскадів, які створюють імпульсні завади на вході та виході ДВЕЖ [3].

Результати впливу завад можуть привести до виходу з ладу або викликати збої в роботі ДВЕЖ, та інших ТЗ.

Складність і різноманітність інфраструктури офісних приміщень призводить до необхідності передбачити процеси передачі та застосування сигналів всіх типів (звукові, інформаційні, відео), що мають різні рівні та спектральний состав, що ускладнює електромагнітну обстановку.

Для забезпечення ЕМС дуже важливо визначити конкретні причини впливу ненавмисних завад джерел і шляхи їх поширення, оцінити сприйнятливість рецепторів до дії конкретних завад.

Серед вузлів і пристроїв офісних приміщень, що є джерелами електромагнітних завад, необхідно виділити в першу чергу джерела вторинного електроживлення (ДВЕЖ), а також електрообладнання та електромеханічні пристрої, що мають у своєму складі трансформатори, електромеханічні пускачі та реле, перетворювальні агрегати з регуляторами і коректорами напруги, випрямні та перетворюючі вузли з ємнісною та індуктивною реакціями та ін.

### 3. ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ

#### 3.1 Основні методи до визначення електромагнітної обстановки

Для визначення ЕМО застосовують три основні методи:

- 1) *електродинамічний*;
- 2) *енергетичний*;
- 3) *імовірнісний*.

##### 3.1.1 Електродинамічний метод

Електродинамічний підхід до опису ЕМО базується на рішенні рівнянь Максвелла при відомих джерелах електромагнітного поля. При цьому середовище, в якому поширюються ЕМХ, вважають однорідною та ізотропною. Груповий сигнал, що визначає ЕМО в точці спостереження  $P(x_0, y_0, z_0)$ , можна знайти як суперпозицію електромагнітних полів від  $m$  окремих взаємно незалежних джерел. Базовою моделлю джерела ЕМЗ служать: елементарний електричний випромінювач (диполь Герца) і елементарний магнітний випромінювач (рамка зі струмо абом елементарний щілинний випромінювач).[11]

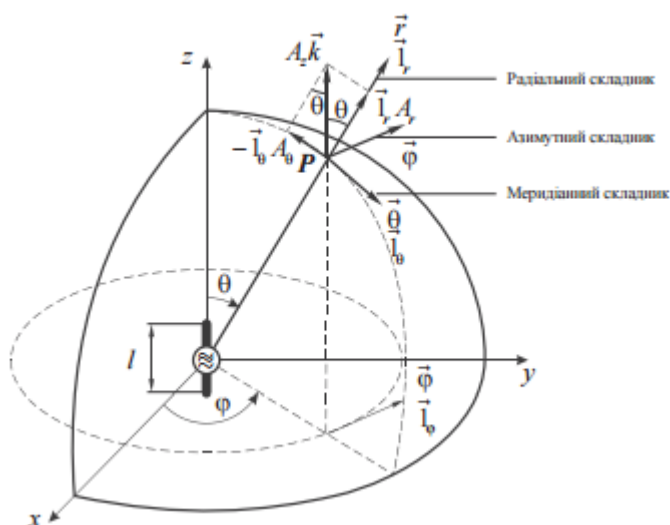


Рисунок 3.1 - Складники електромагнітного поля Диполя Герца



Загальні вирази для складових електромагнітного поля в сферичній системі координат мають вид:

для диполя Герца:

$$\dot{H}_\varphi = \frac{I_m l \beta^2 e^{-j\beta r}}{4\pi} \left[ j \frac{\lambda}{2\pi r} + \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 \right] \sin \theta = \frac{I_m l e^{-j \frac{2\pi r}{\lambda}}}{4\pi} \left[ j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} \right] \sin \theta, \quad (3.1)$$

$$\dot{E}_\theta = \frac{I_m l \beta^3 e^{-j\beta r}}{4\pi \omega \varepsilon} \left[ j \frac{\lambda}{2\pi r} + \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 - j \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^3 \right] \sin \theta = \frac{I_m l Z_W e^{-j \frac{2\pi r}{\lambda}}}{4\pi} \left[ j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j 2\pi r^3} \right] \sin \theta, \quad (3.2)$$

$$\dot{E}_r = \frac{I_m l \beta^3 e^{-j\beta r}}{2\pi \omega \varepsilon} \left[ \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 - j \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^3 \right] \cos \theta = \frac{I_m l Z_W e^{-j \frac{2\pi r}{\lambda}}}{2\pi} \left[ \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j 2\pi r^3} \right] \cos \theta, \quad (3.3)$$

де  $I$  – сила струму у випромінювачі,

$l$  – довжина випромінювача,

$r$  – відстань,

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$  – коефіцієнт фази.

Для елементарного рамкового випромінювача:

$$\dot{E}_\varphi = -\frac{j\omega \mu I_m S \beta^2 e^{-j\beta r}}{4\pi} \left[ j \frac{\lambda}{2\pi r} + \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 \right] \sin \theta = -\frac{j\omega \mu I_m S e^{-j \frac{2\pi r}{\lambda}}}{4\pi} \left[ j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} \right] \sin \theta, \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \dot{H}_\theta &= \frac{j\mu I_m S \beta^3 e^{-j\beta r}}{4\pi \varepsilon} \left[ j \frac{\lambda}{2\pi r} + \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 - j \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^3 \right] \sin \theta = \\ &= -\frac{j\omega \mu I_m S Z_W e^{-j \frac{2\pi r}{\lambda}}}{4\pi} \left[ j \frac{2\pi}{\lambda r} + \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j 2\pi r^3} \right] \sin \theta, \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\dot{H}_r = -\frac{j\mu I_m S \beta^3 e^{-j\beta r}}{2\pi \varepsilon} \left[ \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^2 - j \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)^3 \right] \cos \theta = -\frac{j\omega \mu I_m S Z_W e^{-j \frac{2\pi r}{\lambda}}}{2\pi} \left[ \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{j 2\pi r^3} \right] \cos \theta, \quad (5.6)$$

де  $S$  – площа рамки зі струмом.

Представлені формули записані таким чином, що доданки  $(\lambda/2\pi r)^n$ , де  $n=1,2,3$ , характеризують складові  $\vec{E}$  та  $\vec{H}$  залежно від співвідношення довжини хвилі  $\lambda$  і відстані до точки спостереження  $r$ .

З формул (3.1-3.6) випливає, що за  $r \ll \lambda/2\pi$  складову нижчих ступенів можна не враховувати і навпаки.

Відстань  $r_{кр.} = \lambda/2\pi$  називають критичною або граничною. Якщо точка спостереження розташована на відстані значно меншому  $r_{кр.}$ , то поле характеризується ближньою зоною (зоною індукції), якщо  $r \gg r_{кр.}$ , — дальньою зоною (зоною випромінювання). Зона в околиці  $r_{кр.}$  називають проміжною зоною.

В таблиці 3.1 наведено формули для складових  $\vec{E}$  та  $\vec{H}$  ближньої та дальньої зон для електричного і магнітного випромінювачів.[11]

Таблиця 3.1 – Складники ЕМП у ближній і дальній зонах для електричного і магнітного випромінювачів

	Електричний випромінювач	Магнітний випромінювач
Ближня зона	$\dot{H}_\varphi = \frac{I_m l}{4\pi r^2} \sin \theta$ $\dot{E}_\theta = -j \frac{I_m l}{4\pi \epsilon \omega r^3} \sin \theta$ $\dot{E}_r = -j \frac{I_m l}{2\pi \epsilon \omega r^3} \cos \theta$	$\dot{E}_\varphi = j \frac{\omega \mu I_m S}{4\pi r^2} \sin \theta$ $\dot{H}_\theta = -\frac{I_m S}{4\pi r^3} \sin \theta$ $\dot{H}_r = \frac{I_m S}{2\pi r^3} \cos \theta$
Дальня зона	$\dot{H}_\varphi = \frac{I_m l \beta}{4\pi r} e^{-j\beta r} \sin \theta$ $\dot{E}_\theta = j \frac{I_m l \beta^2}{4\pi \epsilon \omega r} e^{-j\beta r} \sin \theta$ $\dot{E}_r = \frac{I_m l \beta}{2\pi \epsilon \omega r^2} e^{-j\beta r} \cos \theta$	$\dot{E}_\varphi = \frac{\omega \mu I_m S \beta}{4\pi r} e^{-j\beta r} \sin \theta$ $\dot{H}_\theta = -\frac{I_m S \beta^2}{4\pi r} e^{-j\beta r} \sin \theta$ $\dot{H}_r = -j \frac{I_m S \beta}{2\pi \mu \omega r^2} e^{-j\beta r} \cos \theta$

На основі формул, наведених в таблиці 3.1, можна зробити висновок, що в ближній зоні складові  $E_\theta$  і  $H_\varphi$  для електричного випромінювача й  $E_\varphi$  і  $H_\theta$  для магнітного знаходяться в квадратурі і тому середнє значення вектора

Пойнтинга дорівнює нулю. Це означає, що в ближній зоні електромагнітна хвиля не формується, саме тому ближню зону називають зоною індукції або зоною наведення.

Інша особливість ближньої зони полягає в тому, що хвильовий опір залежить не тільки від параметрів середовища, але й від виду випромінювача.

Для електричного випромінювача:

$$Z_W^{el} = \frac{1}{j\omega\epsilon r}, \quad (3.7)$$

тобто поле високоімпедансне; для магнітного випромінювача:

$$Z_W^{mf} = j\omega\mu r, \quad (3.8)$$

тобто поле низькоімпедансне.

Для того щоб у точці  $P(x_0, y_0, z_0)$  одержати повний груповий сигнал, який створюється сукупністю випромінювань від  $m$  незалежних джерел, необхідно векторно просумувати напруженості відповідних полів:

$$\dot{H}_\Sigma = \sum_{i=1}^m \dot{H}_i; \quad (3.9)$$

$$\dot{E}_\Sigma = \sum_{i=1}^m \dot{E}_i. \quad (3.10)$$

Для попередньої оцінки ЕМО можна скористатися методикою формального упорядкування складових зосередженої завади, розташувавши їх у виді ієрархічних ступіней. Крім того, використання електродинамічного підходу до опису ЕМО ускладнюється тим, що розподіл струмів за об'ємом, який займає випромінююча система, не завжди відомий.[11]

### 3.1.2 Енергетичний метод

Для реалізації енергетичного методу доцільно окремо визначати завади, зосереджені за спектром та завади, зосереджені за часом.

*Завади, зосереджені за спектром.*

Такі завади визначимо, як ансамбль з  $n$  вузькосмугових сигналів. Запишемо  $i$ -тий вузькосмуговий сигнал:

$$e(t) = E_i(t) \cos[\omega_{0i}(t) + \varphi_{0i}(t)], \quad (3.11)$$

де  $E_i(t)$ ,  $\varphi_{0i}(t)$  – обвідна та фаза напруженості поля радіохвилі від  $i$ -го джерела;

$\omega_{0i}$  – кругова частота носія.

В такому випадку завада, що зосереджена за спектром, представлена формулою:

$$e(t) = \sum_{i=1}^n E_i(t) \cos[\omega_{0i}(t) + \varphi_{0i}(t)] . \quad (3.12)$$

За умов великої кількості складових, сигнал можна сприймати як широкосмуговий нормальний стаціонарний процес. Тоді в точці прийому напруженість електромагнітного поля:

$$E_i = \frac{173\sqrt{P_i D_i}}{r_i} V_i, \quad (3.13)$$

де  $P_i$  – потужність, яка підводиться до антени  $i$ -го джерела, кВт;

$D_i$  – коефіцієнт підсилення  $i$ -ї антени;

$r_i$  – відстань від  $i$ -го джерела до точки спостереження (приймання), км;

$V_i$  – множник послаблення середовища поширення хвилі.

Потужність приймальної антени  $P_{пр. ант}$ , нВт визначають за формулою:

$$P_{пр. ант} = 6,33 \cdot 10^3 D \sum_{i=1}^n \frac{P_i D_i \lambda_i^2}{r_i^2} V_i^2, \quad (3.14)$$

де  $P_i$  – потужність, що випромінює  $i$ -а передавальна антена.

Якщо кількість складових групового сигналу велика, визначення ЕМО є достатньо складною. Доцільно розділити складові зосередженої за спектром завади на дискретні енергетичні рівні, тоді вузькосмуговий сигнал матиме вигляд:

$$e(t) = E_{mi} K_i(t) \cos[\omega_{0i}(t) + \varphi_{0i}(t)], \quad (3.15)$$

де  $E_{mi}$  – амплітудне значення напруженості поля  $i$ -го сигналу в точці приймання,

$K_i(t)$  – безрозмірний множник, що характеризує закон змінення обвідної.

Комплексна спектральна функція сигналу має вигляд:

$$\dot{A}_i(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} e_i(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{\sqrt{60 P_i D_i}}{r_i} V_i \dot{a}(\omega), \quad (3.16)$$

де

$$\dot{a}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} A_i(t) e^{-j\omega t} dt \quad (3.17)$$

– нормована спектральна функція процесу.

Відповідно до рівняння Парсеваля, питома енергія процесу:

$$W_i = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_{1i}}^{\omega_{2i}} A_i^2(\omega) d\omega = \frac{60 P_i D_i}{\pi r_i^2} V_i^2 \int_{\omega_{1i}}^{\omega_{2i}} a_i^2(\omega) d\omega. \quad (3.18)$$

Вважаємо, що  $i$ -й сигнал зосереджено в смузі  $\Delta\omega_i = \omega_{2i} - \omega_{1i}$ , в межах якої модуль нормованої спектральної функції  $a(\omega)$  є незмінним. Спростимо формулу (3.18):

$$W_i = \frac{60 P_i D_i}{\pi r_i^2} V_i^2 a_i^2 \Delta\omega_i = \frac{1}{\pi} A_i^2 \Delta\omega_i, \quad (3.19)$$

$$\text{де } A_i^2 = \frac{60 P_i D_i}{r_i^2} V_i^2 a_i^2.$$

Таким чином, питому енергію завади, зосереджену за спектром, можна визначити як:

$$W_i = \frac{60}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{P_i G_i}{r_i^2} V_i^2 a_i^2 \Delta\omega_i = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n A_i^2 \Delta\omega_i. \quad (3.20)$$

*Завади, зосереджені за часом.*

Ці завади поділяють на імпульсні та флуктуаційні. Відмінність між ними полягає у визначенні тривалості встановлення перехідних процесів.

Якщо перехідні процеси від попереднього імпульсу не перекривають у часі перехідні процеси від наступного імпульсу, таку заваду вважають *імпульсною*.

Якщо накладання цих перехідних процесів створює неперервний випадковий процес, таку заваду вважають *флуктуаційною*.

Імовірність перевищення амплітудної завади, що зосереджена за часом, і яка містить флуктуаційну та імпульсну складові деякого рівня  $x_0$ , визначає її інтегральна функція розподілу. Вона має вигляд:

$$p(u) = \underbrace{(1 - \nu\tau) \exp\left(-x_{\phi}^2 \frac{\alpha_{\phi}}{2a_{\phi}^2}\right)}_{\text{флуктуаційна складова}} + \underbrace{\nu\tau \exp\left(-x_{im}^2 \frac{\alpha_{im}}{2a_{im}^2}\right)}_{\text{імпульсна складова}} . \quad (3.21)$$

де

$$x = \frac{A}{\sqrt{2A_0^2}} ,$$

$A$  – миттєве значення амплітуди завади;

$A_0$  – дієве значення амплітуди завади, визначене та усереднене вузькосмуговим приймачем;

$\alpha$  та  $a$  – параметри розподілу Вейбулла;

$\nu$  – середня швидкість імпульсів [1/с];

$\tau$  – середня тривалість імпульсів [с].

Середньоквадратичне значення потужності завад, зосереджених за часом, що виділяється на одиничному опорі:

$$p^2 = (1 - \nu\tau) a_{\phi}^2 A_{0.\phi} \Gamma\left(\frac{2}{\alpha_{\phi}} + 1\right) + \nu\tau^2 a_{im}^2 A_{0.im} \Gamma\left(\frac{2}{\alpha_{im}} + 1\right) , \quad (5.22)$$

де  $\Gamma(\alpha)$  – гама-функція.

Значення  $p(u)$  та  $P^2$  залежать від конкретних умов прийому (від робочої частоти та смуги пропускання приймального тракту).

Ці умови можна врахувати застосуванням відносного параметру:

$$A = 10 \lg \frac{A_d^2}{A_{cp}^2}, \quad (3.23)$$

де  $A_{cp}$  – середнє значення миттєвих амплітуд завад.

Для знаходження параметрів  $a$  та  $\alpha$  необхідно мати експериментальну залежність  $p(A)$  для конкретних умов, тобто для конкретних значень множника  $A$ .

Методика орієнтовного розрахунку параметрів  $a$  та  $\alpha$ . Із урахуванням того, що інтенсивність імпульсної складової завад набагато вище за інтенсивність флуктуаційної складової, до того ж ця різниця значно збільшується із розширенням смуги пропускання приймача, приймають  $\alpha_\phi = \alpha_{im} = 2$ .

За графіком, що зображений на рис. 3.1а переходять від конкретного значення параметру  $U$  (3.22) для приймача з вузькою смугою пропускання  $\Delta f = 200$  Гц до аналогічного відносного параметра  $A_{ш}$  для приймача з широкою смугою пропускання  $\Delta f_{ш}$ .

За розрахованим значенням параметру  $A_{ш}$ , за графіком, що наведено на рис. 3.1б, визначають значення  $a_{im}^2$ ,  $a_\phi^2$ ,  $\nu\tau$ . Далі, за співвідношенням (3.22), оцінюють потужність завад, зосереджених за часом.

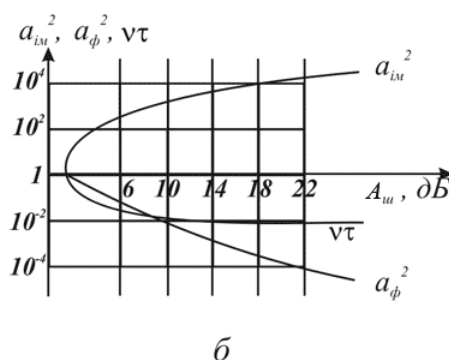
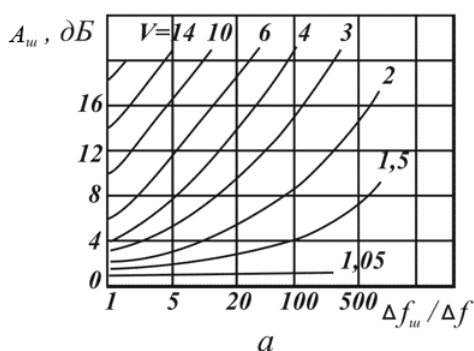


Рисунок 3.1 – Графіки залежності: *a* – миттєвого значення амплітуди завади в РЕЗ з широкою смугою пропускання від співвідношення  $\Delta f_w / \Delta f$  ,  
*б* – перехід від параметру  $A_w$  до параметрів функції розподілу Вейбулла

### 3.1.3 Імовірнісний метод

Для оцінки ЕМО також застосовують імовірнісний метод. Інформація про реальну ЕМО міститься у вихідному сигналі радіоприймального пристрою. Цей сигнал можна записати і піддати статистичній обробці.

Статистичні характеристики сигналу залежать від того, чи знаходиться радіопередавальний пристрій (РПП) тільки під впливом вхідного сигналу або на його вхід діє сукупність сигналу і завад. Ідеалізовану ЕМО, що відповідає першому випадку, можна прийняти за опорну, з яким порівняти реальну. Таким чином, стосовно реальної ЕМО можна судити, порівнюючи статистичні характеристики двох вихідних сигналів РПП. При цьому можна одержати і кількісну оцінку ЕМО, якщо порівняти між собою імовірності перевищення заданого рівня вихідними сигналами приймача на інтервалі спостереження  $T$ .

Перевагою розглянутого методу є те, що оцінка ЕМО здійснюється по реакції конкретного РПП на вхідний вплив, яка у непрямий спосіб враховує усі заходи як технічного, так і організаційного характеру, спрямовані на забезпечення ЕМС.

Окрім представлених вище існують інші методи й підходи до визначення електромагнітної обстановки. Наприклад, геометричне зображення ЕМО, та підхід, що ґрунтується на елементах теорії множин, тощо.

## 3.2 Практичні методи дослідження електромагнітної обстановки

### 3.2.1 Параметри уземлювального пристрою



Основним параметром, що характеризує заземлювальний пристрій (ЗП) є його опір розтікання на промисловій частоті (ПЧ). Для великих заземлювальних пристроїв до нього додаються опори основ електроапаратів щодо опорної точки, для якої вимірювся опір розтікання. Інші параметри (крокова напруга, напруга дотику) вводяться з міркувань електробезпеки персоналу.[11]

Експериментальні методи виміру опору розтікання й опорів основ ЗП базуються на методі "амперметра-вольтметра". При цьому часто застосовують спеціальні прилади, які представляють собою, фактично, комбінацію амперметра, вольтметра і джерела струму для навантаження заземлювального пристрою.

При вимірах опору розтікання струмовий і потенційний електроди варто розташовувати на території, вільної від ліній електропередач і підземних комунікацій. Відстані від об'єкта (наприклад, підстанції) до струмового і потенційного електродів вибираються залежно від розмірів заземлювального пристрою і характерних рис навколишньої території.

Якщо ЗП має невеликі розміри, а довкола нього мається велика площа, вільна від ліній електропередач і підземних комунікацій, то відстані до електродів вибираються таким чином:

$$r_{\text{ет}} \geq 5 \cdot D, \quad (3.24)$$

$$r_{\text{ес}} \geq 0.5 \cdot r_{\text{ет}}, \quad (3.25)$$

де  $D$  — найбільший лінійний розмір ЗП;

$r_{\text{ес}}$ ,  $r_{\text{ет}}$  — відстань від ЗП до струмового і потенційного електродів відповідно.

Значення, яке індукується на вимірювальному приладі, і є шуканий опір.

Якщо ЗП має великі розміри та відсутня можливість розміщення електродів, як зазначено вище, струмовий електрод варто розмістити на

відстані  $r_{ec} \geq 3 \cdot D$ . При цьому, щоб зберегти необхідну точність вимірів, методика дещо ускладнено. Потенційний електрод розміщують послідовно на відстані  $r_{ep} = (0.1, 0.2, \dots, 0.9) \cdot r_{ec}$ , причому обов'язково на тій же лінії, що й струмовий електрод. Для кожного розташування потенційного електрода  $r_{ep}$  виміряється і заноситься в таблицю значення опору.

Далі будується крива залежності значення опору від відстані від ЗП до потенційного електрода  $r_{ep}$ . Якщо крива монотонно зростає і має в середній частині горизонтальна ділянка, за еталонне значення опору приймається значення при  $r_{ep} = 0.5 \cdot r_{ec}$ . Це означає, що потенційний електрод знаходиться в зоні нульового потенціалу, практично поза зонами впливу ЗП і струмового електрода. Якщо крива не монотонна, що є наслідком впливу різних комунікацій (підземних і надземних), завод і т. і., виміри повторюють в іншому напрямку від ЗП. Якщо крива опору плавно зростає, але не має горизонтальної ділянки (різниця опорів, обмірюваних при  $r_{ep} = 0.4 \cdot r_{ec}$  і  $r_{ep} = 0.6 \cdot r_{ec}$  більш ніж на 10% перевищує значення, виміряне при  $r_{ep} = 0.5 \cdot r_{ec}$ ), і відсутні можливість переміщення струмового електрода на більшу відстань, можна використовувати два наступних методи.[11]

За першим методом проводять дві серії вимірів при  $r_{ec} = 2 \cdot D$  і  $r_{ec} = 3 \cdot D$ . Криві наносяться на один графік. Точка перетину кривих приймається за точне значення опору розтікання ЗП.

Другий метод відрізняється тим, що в якості потенційного і струмового електродів використовуються існуючі провідні комунікації (кабелі зв'язку і т. д.).

Під час проведення вимірів як допоміжні електроди зазвичай застосовують сталеві стрижні або труби діаметром до 50 мм. Стрижні потрібно очистити від фарби, а в місці приєднання сполучних провідників також від іржі. Стрижні забиваються або угвинчуються в ґрунт на глибину 1.0...1.5 м. Якщо є потреба, струмовий електрод виконується з декількох паралельно з'єднаних електродів, розташовуваних по окружності, на відстані (1.0...1.5) м один від одного.

Іноді в якості струмових і потенційних зондів використовують пристрої інших заземлювальних об'єктів, а для подачі струму і виміру потенціалу використовуються ті чи інші існуючі ланцюги.[11]

Під час вибору або спорудженні струмового електрода необхідно виконати перевірку відповідності опору струмового кола технічним даним приладу, за допомогою якого пропонується провести виміри.

Зрозуміло, ті ж виміри можна провести безпосередньо методом амперметра ( вольтметра. Величина струму джерела залежить від величини завад вимірам.

Потрібно також враховувати вплив поля, створюваного великим струмом навантаження, на кола потенційного електрода.

### 3.2.2 Моніторинг напруги живлення

Для оцінки якості напруги в мережі електроживлення 220 В 50 Гц використовують спеціальні прилади — аналізатори, що дозволяють провести моніторинг системи електроживлення протягом тривалого часу в автономному режимі. За результатами вимірів видається підсумкова статистика, що описує зміни таких параметрів напруги живлення, як [11]

- діюче значення;
- коефіцієнт несинусоїдальності (вміст гармонік); деякі прилади дозволяють одержувати дані по кожній гармоніці (наприклад, з першої по п'ятидесяту);
- частота;
- деякі прилади видають статистичну інформацію по короткочасним коливанням напруги (флікер).

Багато приладів також фіксують імпульсні завади, короткочасні провали і викиди напруги, різкі зміни частоти і коефіцієнта несинусоїдальності. При аналізі цих осцилограм потрібно пам'ятати, що робочі частоти аналізаторів

мережі зазвичай значно нижче, ніж у спеціалізованих осцилографів. Тому імпульсні завади з фронтами порядку декількох мікросекунд можуть відображатися некоректно.

При аналізі напруги електроживлення варто мати загальне представлення про схему електроживлення на об'єкті вимірів. Це дозволяє коректно визначити всі необхідні точки і режими виміру.[11]

Аналогічний моніторинг рекомендується проводити і для вторинних мереж живлення, які слугують для розведення споживачам гарантованого електропостачання від акумуляторної батареї або джерела безперервного живлення. В деяких випадках це дозволяє вчасно виявити такі проблеми, як перевантаження ДБЖ, наявність джерел імпульсних завад в самій вторинній мережі електроживлення і т.п.

### 3.2.3 Контроль електромагнітних полів комп'ютерної техніки

Достовірне знання рівнів і просторового розподілу електромагнітних полів від різних блоків ПЕОМ є однією з необхідних умов їхньої безпечної експлуатації.

Контроль наявності і рівнів електричних і магнітних полів комп'ютерної техніки здійснюється по дворівневій системі. На першому рівні контроль відповідності комп'ютерної техніки національним або міжнародним вимогам безпеки в частині електромагнітних полів виконуються за заявкою виробника або продавця цієї техніки шляхом проведення сертифікаційних випробувань в спеціалізованих акредитованих лабораторіях. На другому рівні комп'ютерна техніка може перевірятися по санітарно-гігієнічних вимогах безпосередньо на робочих місцях або в аналогічних їм умовах.[11]

### 3.2.4 Сертифікаційні випробування відеотерміналів та ПЕОМ

Сертифікація відеотерміналів та ПЕОМ по параметрах електромагнітних полів здійснюється в стаціонарних умовах спеціалізованих акредитованих випробувальними центрів або лабораторій у повній відповідності з положенням про сертифікацію. В цих лабораторіях повинні бути забезпечені спеціальні (обговореними стандартами) умови випробувань для одержання об'єктивних результатів, що мають чисто фізичний зміст і визначаючи якість комп'ютерної техніки безвідносно до реальних умов її експлуатації.

Вимір магнітного поля здійснюється в 48 точках (по 16 точок навколо дисплея на трьох рівнях по висоті щодо центра екрана). Вимір електричного поля здійснюється в 4-х точках навколо дисплея. Точки виміру розташовані по окружності з дотичною на відстані 0.5 м від його екрана і центром, який знаходиться в центрі дисплея.[11]

Вимір змінних електричних і магнітних полів повинні проводитися приладами, що дозволяють здійснювати контроль роздільно в двох частотних діапазонах — 5 Гц...2 кГц і 2 кГц...400 кГц. Основна похибка вимірів повинна бути у межах 10%.

Під час проведення вимірів у приміщенні повинні бути виключені всі сторонні джерела електромагнітних полів, які можуть впливати на результати вимірів. Масивні металеві предмети можуть розташовуватися на відстані не ближче 1 м від випробуваного технічного засобу.

Для електричних і магнітних полів в кожному з піддіапазонів частот до протоколу заноситься значення поля перед екраном, а також максимальне значення, отримане під час вимірів в інших точках із вказівкою координат цієї точки.

Під час виміру електростатичного потенціалу і змінного електричного поля вимірювальні прилади і випробувані технічні засоби повинні бути заземлені на загальну клему заземлення.

### 3.2.5 Вимірювання електромагнітних полів від комп'ютерної техніки на робочих місцях

Сертифікаційні випробування дають однозначну і повну картину про якість ПЕОМ. Але під час сертифікаційних випробуваннях не враховуються (та й не можуть враховуватися) як можливі комбінації комплектуючих пристроїв на робочих місцях залежно від необхідних задач, так і можливі впливи на створювані поля взаємного розташування цих комплектуючих пристроїв і їх взаємні кабельні з'єднання.

Крім того, в даний час в Україні знаходиться в експлуатації значна кількість обчислювальних комплексів, оснащених старими технічними засобами як вітчизняного, так і закордонного виробництва випуску до 90-х років. Дисплеї цих обчислювальних комплексів, як правило, мають параметри неіонізуючих випромінювань, що в кілька разів перевищують припустимі, і які не проходили ніяких сертифікаційних випробувань.

Прагнення убезпечити користувача старих типів ВДТ від об'єктивно існуючих високих рівнів полів привело до розробки і застосування на практиці деяких захисних засобів і методів, основним з яких є захисні екранні фільтри, що знижують рівень електричних полів у бік оператора. Це дозволяє експлуатувати монітори з електричними полями, що перевищують допустимий рівень. Помітно позитивні результати дають і такі методи зниження діючих на операторів полів як раціональне планування розміщення робочих місць, місцеве екранування або застосування радіопоглинаючих матеріалів.

Таким чином, стає очевидним, що умови безпосередньо на робочих місцях можуть істотно впливати на електромагнітні поля, змінюючи їхні рівні порівняно з одержуваними за результатами сертифікаційних випробувань або рекламованих виробником.

З огляду на те, що основною задачею тестування є захист людини, під час вимірів на робочих місцях не повинно бути прагнення відтворити процес сертифікаційних випробувань в умовах застосування. Випробування на робочих місцях не повинні підмінювати цей вид випробувань, але повинні давати надійну й достовірну інформацію до проблеми практичного

використання людиною сучасних технічних засобів з погляду нормованих гігієнічних вимог.

Коректування, які необхідні під час контролю електромагнітних полів на робочих місцях з ПЕОМ без порушення при цьому вимог однозначності і вірогідності в результатах вимірів наведені нижче.

- Похибка приладів, які використовуються для виміру, може бути підвищена до 20% порівняно з 10% для приладів, які використовуються під час сертифікаційних випробуваннях.
- Якщо на дисплеї встановлений захисний екранний фільтр, то виміру проводять з даним фільтром. При необхідності оцінити якість фільтра, виміри змінних електричних полів і електростатичного потенціалу проводять з фільтром і без нього.
- Виміри виконують перед екраном дисплея і по радіусі під кутом  $\pm 45$  градусів, якщо за планом робочого місця зрозуміло, що поруч з користувачем немає інших джерел полів, а також, якщо інші співробітники не розташовуються і не можуть розташовуватися з іншої сторони поблизу від даного робочого місця. Слід зауважити, що вимірювання електричного поля проводяться по трьох точках на рівні середини екрану дисплея, а виміри магнітного поля — на двох рівнях: на середині екрану та на 0.3 м нижче середини екрану дисплея.
- Виміру виконують на відстані 50 см від екрана. Однак якщо користувач відповідно до плану робочого місця знаходиться на більшій відстані від дисплея і не може фізично наблизитися до екрана, то виміри проводяться на фактичній відстані розташування користувача.
- Якщо поруч знаходяться інші комп'ютерні місця, то вимірюється поле і від них, з орієнтацією антени приладу для виміру електричного поля з боку цих робочих місць.

Ряд практичних рекомендацій, що можуть бути корисними у практиці виконання вимірів електричних і магнітних полів робочих місць з комп'ютерною технікою такі:

- Раніше допускалася можливість виміру полів з довільним зображенням на екрані — наприклад, зображенням панелі програми Norton Commander. [7] Однак останні дослідження показують, що виведене на екран дисплея екранне меню деяких програм (наприклад, меню програми Microsoft Word) призводить до різкого (до трьох і більш раз) збільшенню змінного електричного поля. Дослідження цього питання тривають, але вже зараз однозначно можна сказати — невірний вибір тестової картинки може призвести до забрукування дисплея, який відповідає усім встановленим вимогам та існуючим гігієнічним сертифікатам. Щоб уникнути подібних конфліктів під час виміру перемінних електричних полів на екрані дисплея в обов'язковому порядку повинна бути виведено тестове уніфіковане тестове зображення.

### 3.2.6 Апаратура контролю електромагнітних полів на робочих місцях з ПЕОМ

Під час встановлення допустимих норм на електромагнітні поля від комп'ютерної техніки (точніше, від дисплеїв ПЕОМ) шведські учені, як провідні в галузі встановлення норм щодо відеомоніторів, взяли як параметр, що характеризує поле, його напруженість, що має місце поблизу ПЕОМ за умови присутності оператора. Даний підхід є принципово відмінним від застосовуваного для оцінки якості по рівням електромагнітних полів інших технічних засобів, коли вимірюється напруженість поля технічного засобу у вільному просторі.

Іншими словами — критерієм якості ПЕОМ в даному випадку є значення напруженості електричного і магнітного поля, що впливає на оператора, коли він знаходиться на своєму робочому місці перед технічним засобом.

Фізична сутність описаного вище підходу полягає в наступному: оператор, знаходячись у безпосередній близькості від ПЕОМ, концентрує на собі силові лінії електричного поля; відповідно, реальне поле, що впливає на оператора в місці його розташування, буде іншим, ніж поле в тій же крапці, але при відсутності оператора.



Апаратура для вимірювання електромагнітних полів імітувати присутність поблизу ПЕОМ оператора, вона повинна працювати як фантома людини і вимірювати саме ту величину електричного поля, що має місце в його присутності на робочому місці перед дисплеєм ПЕОМ.

Українські стандарти чітко визначають вимоги до конструкції антени приладу для виміру напруженості електричної складової електромагнітного поля ПЕОМ, що повинна бути відмінної по конструкції від антен інших вимірювальних приладів, використовуваних для контролю полів інших технічних засобів. Відповідно до стандартів приймальня антена даного приладу повинна являти собою металізований з обох сторін діелектричний диск діаметром 300 мм. На зверненій до вимірюваного об'єкта стороні диска повинна бути виділена активна вимірювальна поверхня — коло діаметром 100 мм, яке знаходиться в центрі диска. Інша провідна поверхня лицьової і зворотної сторони диска повинна бути заземлена.

Таблиця 3.2 — Допустимі рівні електромагнітного поля в різних піддіапазонах [33]

Діапазон частот	MPR II	ТСО 95	СанПиН 2.2.2.542-96
Електростатичний потенціал	$\pm 500$ В	$\pm 500$ В	$\pm 500$ В
Електричне поле			
5 Гц...2 кГц (смуга 1)	$\leq 25$ В/м	$\leq 10$ В/м	$\leq 25$ В/м
2 кГц...400 кГц (смуга 2)	$\leq 2.5$ В/м	$\leq 1$ В/м	$\leq 2.5$ В/м
Вище 400 кГц	—	—	—
Магнітне поле			
5 Гц...2 кГц (смуга 1)	$\leq 250$ нТл	$\leq 200$ нТл	$\leq 250$ нТл
2 кГц...400 кГц (смуга 2)	$\leq 25$ нТл	$\leq 25$ нТл	$\leq 25$ нТл
Вище 400 кГц	—	—	—

Тож для вимірювань електромагнітних полів не може використовуватись широкосмугові вимірювальні прилади, оскільки під час їхнього використання неможливо чітко ідентифікувати рівень полів в кожному з названих вище піддіапазонів частот. Неефективне також використання для таких вимірювань вузькосмугових (селективних) вимірювальних приймачів, оскільки при цьому процес виміру перетворюється в дуже трудомістку задачу — визначення сумарної енергії поля в заданому діапазоні частот за результатами виміру його спектральних складових.

При розгляді питань можливості застосування тих чи інших приладів для контролю електромагнітних полів комп'ютерної техніки варто чітко розрізнити два рівні (дві рівнобіжні галузі) виконання вимірів:

- сертифікаційні випробування ПЕОМ;
- оперативний контроль робочих місць з ПЕОМ.

Під час проведення вимірювань користуються трьома приладами — по одному на кожен параметр: для вимірювання електростатичного потенціалу на поверхні дисплею, для вимірювання напруженості електричного поля і для вимірювання індукції магнітного поля. Прикладом таких приладів можуть слугувати російські розробки ИЕСП-01, ИЕП-05 та ИМП-05 відповідно [35]. Названі прилади можуть поставлятися в одному комплекті, створюючи комплекс для контролю електричних та магнітних полів ПЕОМ та відеодисплейних терміналів. Слід зазначити, що прилад ИЕП-05 комплектуються окрім дискової також і дипольною антеною, яка не вносить спотворень у поле. Приймачі електричного поля (диполі) в такій антені розташовані на діелектричній штанзі на відстані близько 50 см від точки, яка знаходиться в контакті з рукою оператора. За такого виконання повністю виключається вплив на вимірювальне поле як вимірювального засобу, так і оператора, який проводить вимірювання. Вірогідність отримуваних результатів вимірювань та їхня точність при цьому суттєво збільшуються.

Окрім того, якщо в приміщенні розташовані будь-які інші технічні засоби (крім комп'ютерів), то їх низькочастотні електричні поля потрібно вимірювати також з дипольною антеною, що не вносить спотворень у вимірюване поле.

### 3.3 Сучасні засоби моделювання електромагнітної обстановки

У сучасних умовах інтенсивного збільшення функціональних можливостей радіоелектронної апаратури за одночасного підвищення чутливості пристроїв, вимоги до вибору і застосування засобів забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) обладнання суттєво зростають.[53]

Одним із методів прогнозування електромагнітної обстановки (ЕМО), створеної радіоелектронною апаратурою, є програмне забезпечення, яке дає можливість змодельовати ЕМО за відомих вхідних даних. Комп'ютерне моделювання та чисельний аналіз в промисловості надають змогу уникнути дорогих і тривалих натурних випробувань. Це значно зменшує витрати на проектування а також прискорює, доповнює та ілюструє процес проектування і розробки, що буде сприяти розвитку інженерної інтуїції.

Метою роботи є аналіз програмних засобів для моделювання ЕМО з урахуванням специфіки конкретних завдань.

1. Antenna Scatterers Analysis Program (ASAP) – програма, для аналізу параметрів провідних антен, таких як: коефіцієнт підсилення, вхідний повний опір, частотний відгук, ККД та ефектів ізоляції проводів.

2. LC – це, головним чином, електромагнітне моделювання з використанням техніки Finite-Difference Time-Domain (FDTD). FDTD дає змогу передбачити рішення рівнянь системи рівнянь Максвелла (СРМ) у тривимірному просторі. Під час використання методу FDTD прямокутну розрахункову область, яка містить модель, розбивають на велику кількість маленьких сегментів, які можуть бути однакового розміру, або мати варійовані

розміри в розрахунковій області. Розрахунок проводять за кроками у часі, і на кожному кроці обчислюють оновлені значення характеристик полів у кожному сегменті на підставі значень отриманих на попередньому кроці. Індуктивність, ємність та вхідний опір кола можна обчислити на основі значень полів попередніх кроків. Також програма надає можливість розрахувати діаграму спрямованості випромінювання.

3. ANSYS Maxwell – високопродуктивне програмне забезпечення для моделювання двовимірних і тривимірних електромагнітних полів, що використовують для аналізу моделей двигунів, датчиків, трансформаторів і багатьох інших електричних і електромеханічних пристроїв різного застосування. Математична основа ANSYS Maxwell – метод кінцевих елементів, завдання якого полягає в знаходженні єдино можливого розподілу електромагнітного поля в заданій розрахунковій області за зазначених граничних умовах.

4. Програма Finite Element Method Magnetics (FEMM) працює на основі магнітних розрахунків способом кінцевих елементів та дозволяє проводити на персональних комп'ютерах розрахунок пласкомеридіанних і пласкопаралельних стаціонарних або квазістаціонарних магнітних, а також стаціонарних електростатичних полів. Програмне забезпечення дає змогу визначати параметри досліджуваних кіл.

5. EmGene Environment – середовище, що являє собою тривимірне програмне забезпечення для моделювання електромагнітного поля середовища шляхом рішення рівнянь СРМ у часовій області. EmGene Environment використовують для моделювання високочастотного електромагнітного поля в антенах, резонаторах, фільтрах, та хвилеводах.

6. ELCUT – це потужний сучасний комплекс програм для інженерного моделювання електромагнітних, теплових і механічних задач методом кінцевих елементів. За допомогою модулів ELCUT проводять аналіз фізичних полів і отримують результатив таких видах аналізу як: магнітне поле змінних струмів, магнітне поле постійних струмів і/або постійних магнітів, нестаціонарне магнітне поле, електростатичне поле, електричне поле постійних струмів,

електричне поле змінних струмів, нестационарне електричне поле, стаціонарне і нестационарне температурне поле та механічні напруги і пружні деформації.

Отже, для аналізу параметрів провідних антен варто використати Antenna Scatterers Analysis Program. Програми LC або EmGine Environment використовують для отримання рішення рівнянь СРМу тривимірному просторі. Для вирішення задачі інженерного моделювання електромагнітних полів методом кінцевих елементів варто використати ANSYS Maxwell, FiniteElementMethodMagnetics або ELCUT.[53]

## Висновки

Розглянуто методологічні підходи до визначення електромагнітної обстановки навколо обладнання енергетичних об'єктів з різними закономірностями просторових розподілів електромагнітних полів. Розроблено засади безперервного моніторингу рівнів полів з можливістю розширення переліку відстежуваних параметрів. Визначено найефективніші матеріали для захисту працівників від електромагнітних впливів і окреслено напрями подальших досліджень у цій галузі.

Була проведена робота з розроблення та коригування нормативної бази з електромагнітної безпеки людей. Електромагнітна сумісність технічних засобів повинні виконуватися узгоджено, з урахуванням вимог відповідних міжнародних нормативів у цих галузях [1-20]. Використання міжнародних стандартів для розроблення національних нормативів повинне ґрунтуватися на їх гармонізації з чинними державними стандартами, санітарними нормами, будівельними нормами і правилами та урахуванням особливостей систем передачі та розподілу електроенергії в Україні, реального стану електромереж та засобів зв'язку[22]

## 4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ В ФУНКЦІОНАЛЬНО НАСИЧЕНОМУ ПРИМІЩЕННІ

### 4.1 Моделювання ЕМО в офісному приміщенні дискретно-ітеративним методом

#### 4.1.1 Планування офісу та задання параметрів

На рисунку 4.1 (вид зверху) відображений загальний план розміщення обладнання в офісному приміщенні

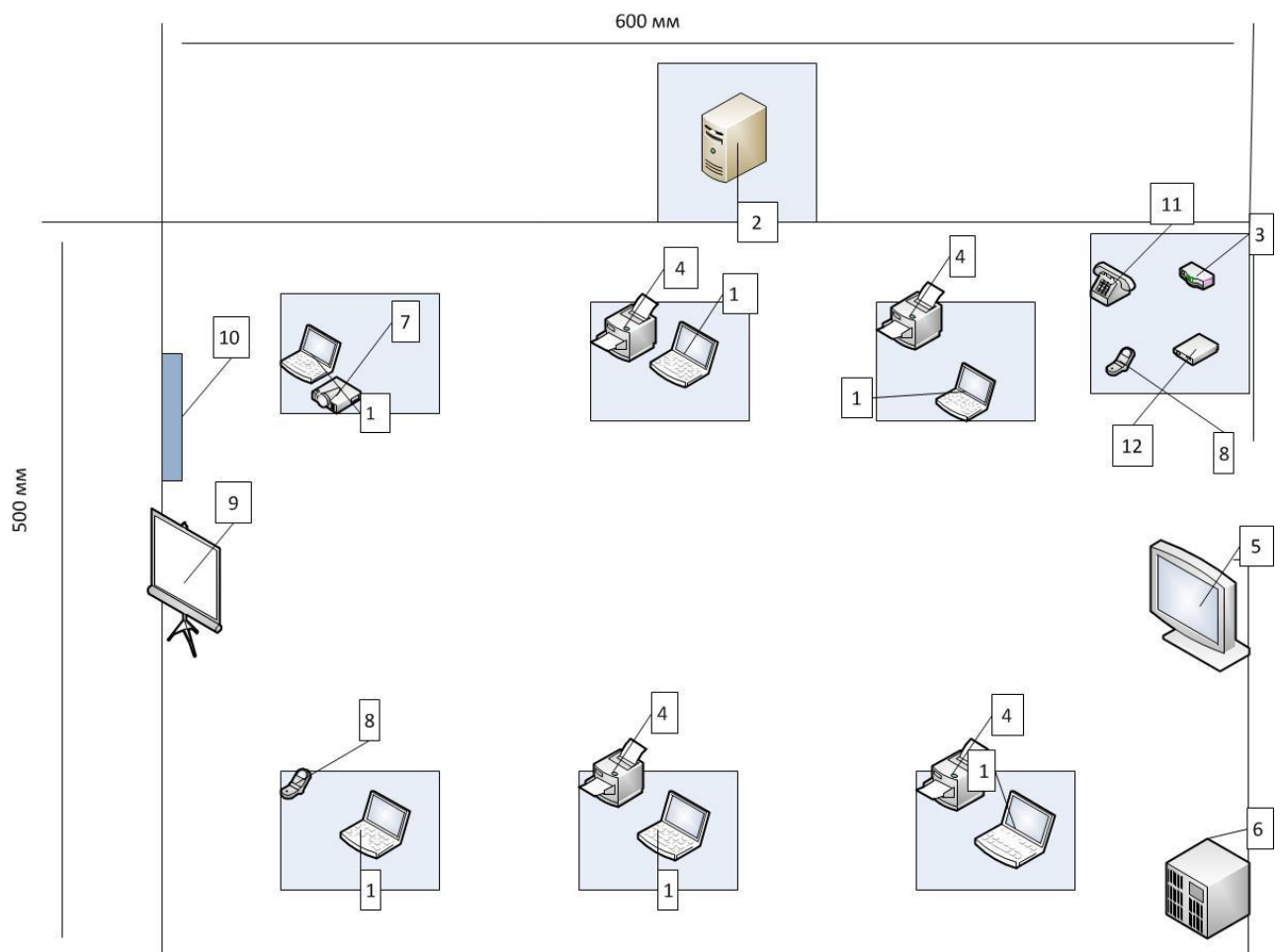


Рисунок 4.1 – Схема приміщення

Експлікація основного та допоміжного обладнання, представлено на рисунку 4.1 та наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Опис приборів

№.	Кількість	Обладнання
1	6	Ноутбук
2	1	Офісний сервер (розташований в сусідній кімнаті)
3	1	Wifi роутер
4	2	Принтер та сканер
5	1	ЖК монітор
6	2	Джерело безперебійного живлення
8	2	Мобільний телефон
9	1	Wi-Fi роутер
10	1	Кондиціонер
11	1	Стаціонарний телефон
12	1	DVB-T2 приймач

Тепер розглянемо це обладнання як рецептор, і ми побачимо, що джерело ненавмисних завад має досить високий рівень в межах певного діапазону який збігається з частотою обладнання, яке зараз стає рецептором з високою чутливістю (до сигналів) або сприйнятливості (до завад) і показані в таблиці 2. Чутливість обладнання, показана в таблиці 2, була взята з супроводжуючої технічної документації. Для забезпечення ЕМС комплексу з великою кількістю пристроїв з різними діапазонами робочих частот, які можуть бути як джерелами, так і рецепторами електромагнітних завад, можливо лише після адекватного моделювання електромагнітної обстановки.





де  $P_{ei}$  – потужність, випромінювана емітером в  $i$ -й чарунці;

$P_{rj}$  – потужність на вході рецептора в  $j$ -й чарунці;

$L_{ji}$  – коефіцієнт, що визначає втрати під час поширення електромагнітної хвилі, від емітера в  $i$ - чарунці до рецептора, розташованого в  $j$ - чарунці.

Незважаючи на велику кількість різних моделей поширення радіохвиль усередині будівлі, обрана модель відповідно до рекомендацій союзу електрозв'язку МСЕ-R P.1238-8 [5] в діапазоні частот від 300 МГц до 100 ГГц як адекватна для нашого випадку. В розробленій програмі можуть бути використані і інші моделі.

Математична модель за Рекомендацією ITU-R P.1238-8, має наступний вигляд:

$$L_{total} \square L(d_o) \square N \log_{10} \frac{d}{d_o} + L_f(n)$$

де:

$N$  – дистанційний коефіцієнт втрат потужності; (див. табл. 4.3);

$f$  – частота, МГц;

$d$  – відстань у метрах між джерелом (емітером) та рецептором (де  $d \square 1$  м);

$d_o$  – еталонна відстань, 1 м;

$L(d_o)$  – втрати на трасі  $d_o$  (dB), для еталонної відстані  $d_o$  на 1 м та приймаючи поширення у вільному просторі  $L(d_o) = 20 \log_{10} f - 28$ , де  $f$  виражається в МГц;

$L_f$  - коефіцієнт втрат за рахунок проходження сигналу через підлогу, дБ;

$n$  - кількість поверхів між джерелом і рецептором ( $n \geq 0$ ),  $L_f = 0$  дБ при  $n = 0$ .

Типові значення дистанційних коефіцієнтів втрат потужності -  $N$ , для розрахунку втрат при передачі всередині будівлі в різноманітних приміщеннях частково представлені в Таблиці 4.

Таблиця 4.3 - Дистанційні коефіцієнти втрат потужності для різних приміщень

Частота	Жиле приміщення	Службове приміщення	Приміщення торгового призначення	Завод	Коридор
900 МГц	—	33	20	—	—
1.9 ГГц	28	30	22	—	—
2.1 ГГц	—	25.5	20	21.1	17
2.4 ГГц	28	30	—	—	—
2.625 ГГц	—	44	—	33	—

Алгоритм програми представлено на рис.4.2. Алгоритм сформовано за принципом дискретно-ітеративного розподілу.

Розроблений метод базується на поділі досліджуваної зони на двовимірну сітку, що складається з безлічі чарунок, що дозволяє здійснювати обчислення в кожній окремій чарунці. Розмір чарунки прийнято  $0,1 \times 0,1$  м. Спочатку користувач визначає чарунку, де розташовано обладнання, яке може бути як джерелом, так і рецептором. Кожне джерело, що представлено в Таблиці 1 в апаратній кімнаті на відстані  $d$  (в будь-якій чарунці) з випромінюваною потужністю  $P_{rx}$ . Програма імітує вплив  $n$ -ої кількості джерел ЕМЗ в дальній зоні на кожну чарунку, за винятком чарунки джерела завад. Максимально можлива кількість джерел електромагнітного випромінювання - 500.

Вихідні дані, необхідні для запуску

програми, з оцінки ЕМО: обладнання, що розміщується в приміщенні розглядається як ненавмисні джерела завад та перешкоди всередині апаратної (координати:  $x(n)$  та  $y(n)$ ); діапазон частот ( $f$ , МГц); відносні максимально дозвалені рівні викидів для відповідного обладнання ( $E$ , дБ).

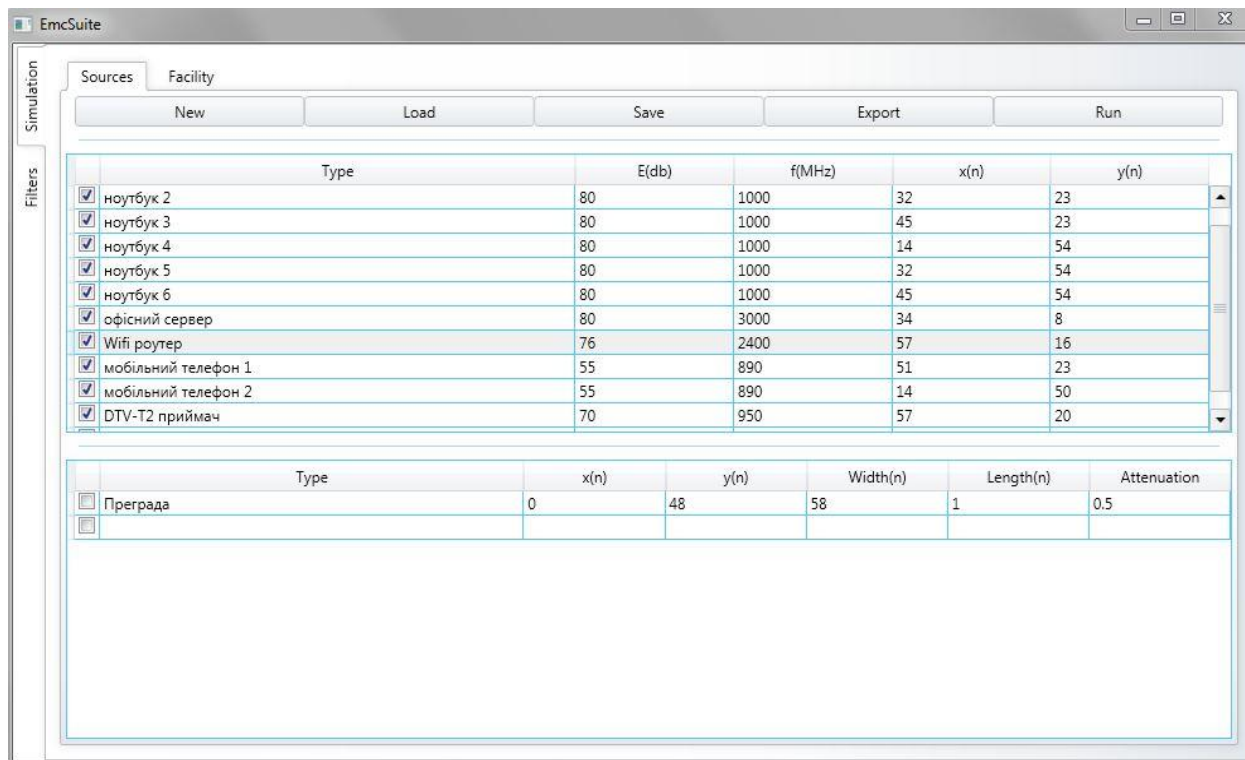


Рисунок 4.2 – Вікно вхідних даних розробленої програми

Програма дає можливість перерахувати дБ в дБм (для 50 / 75 Ом навантаження). На підставі вихідних даних програма імітує карту електромагнітної обстановки в приміщенні. Програма здійснює обчислення загального рівня потужності всіх джерел емісії в апаратній за принципом суперпозиції для тієї ж частоти, а також надає інформацію про вплив кожного джерела окремо (рис.4.3-4.6). Подальший алгоритм обробки проходить через кожен чарунку і для кожної обчислює взаємодію чарунки джерела енергії з чарункою рецептора враховуючи перешкоди між ними. Алгоритм забезпечує розрахунок впливу загальної потужності від джерел на кожен чарунку-рецептор відповідно до рис 4.3.

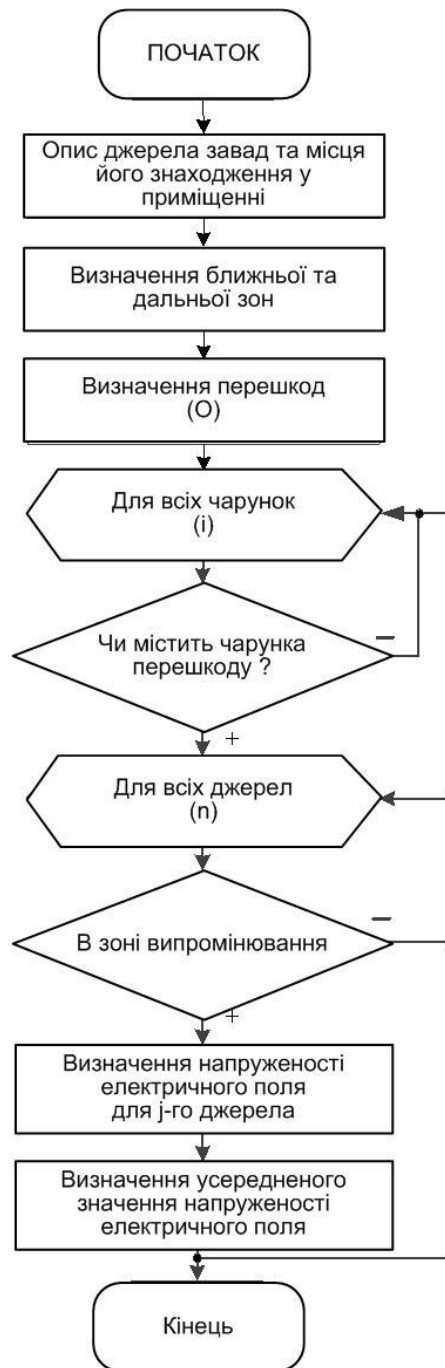


Рисунок 4.3. Алгоритм моделювання електромагнітного випромінювання в офісі.

Таблиця 4.4 – Список джерел, визначений з вихідних даних

Ноутбук	-35,8 дБм
Офісний сервер	-39,4 дБм
Wi-Fi роутер	-30,2 дБм
Мобільний телефон	-24 дБм
DTV-T2 приймач	-26,2 дБм

Як випливає з таблиці 4.4 та рис. 4.4-4.7, приміщення обладнане різноманітним обладнанням з різним рівнем випромінювання (близько десятка дБм), різної сприйнятливості (близько мінус десятка дБм) в широкому діапазоні частот (до гігагерців), що створює складну електромагнітну обстановку і, відповідно, проблеми в забезпеченні електромагнітної сумісності.

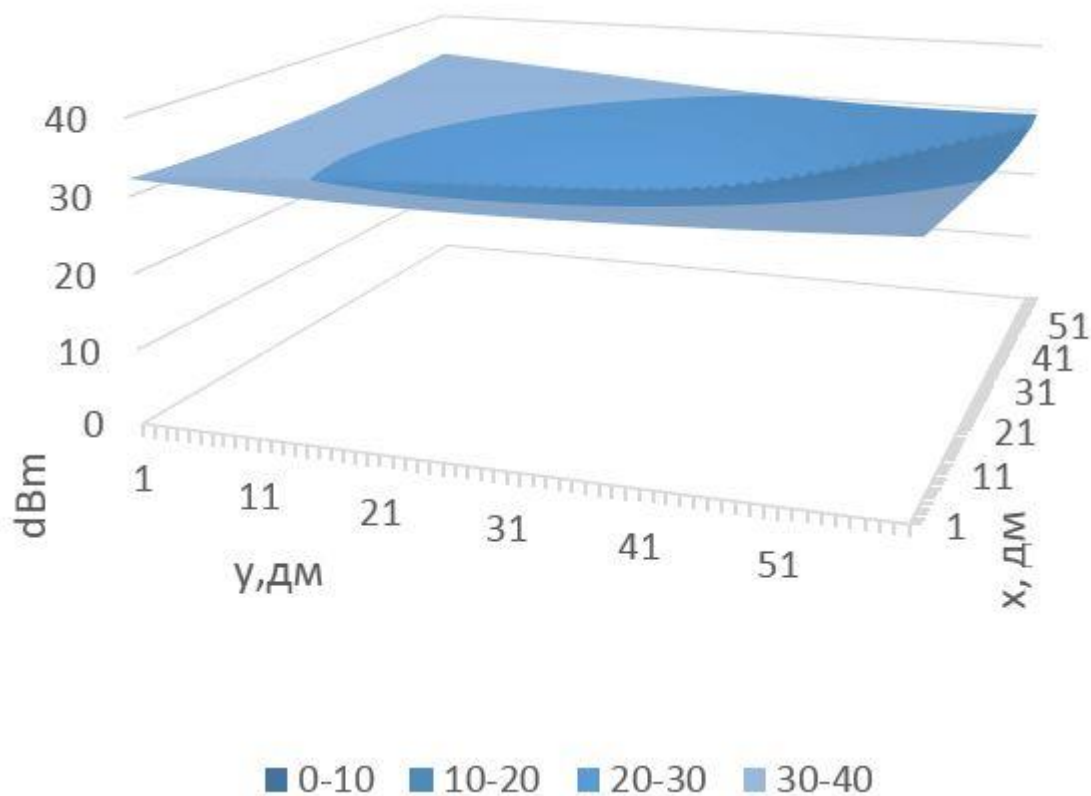


Рисунок 4.4 - Вплив джерела мобільного телефону

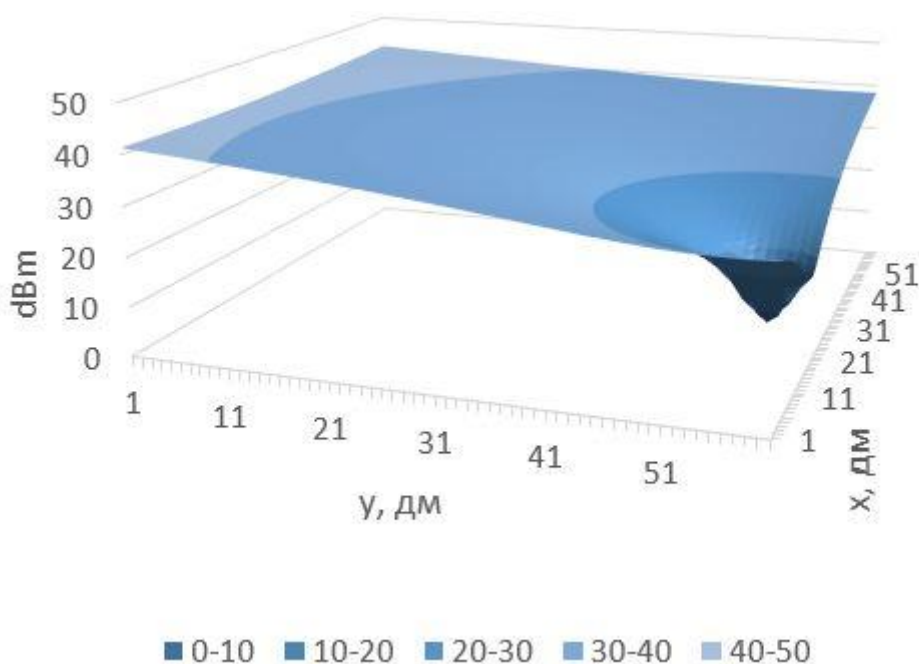


Рисунок 4.5 - Вплив джерела DVB-T2 приймача

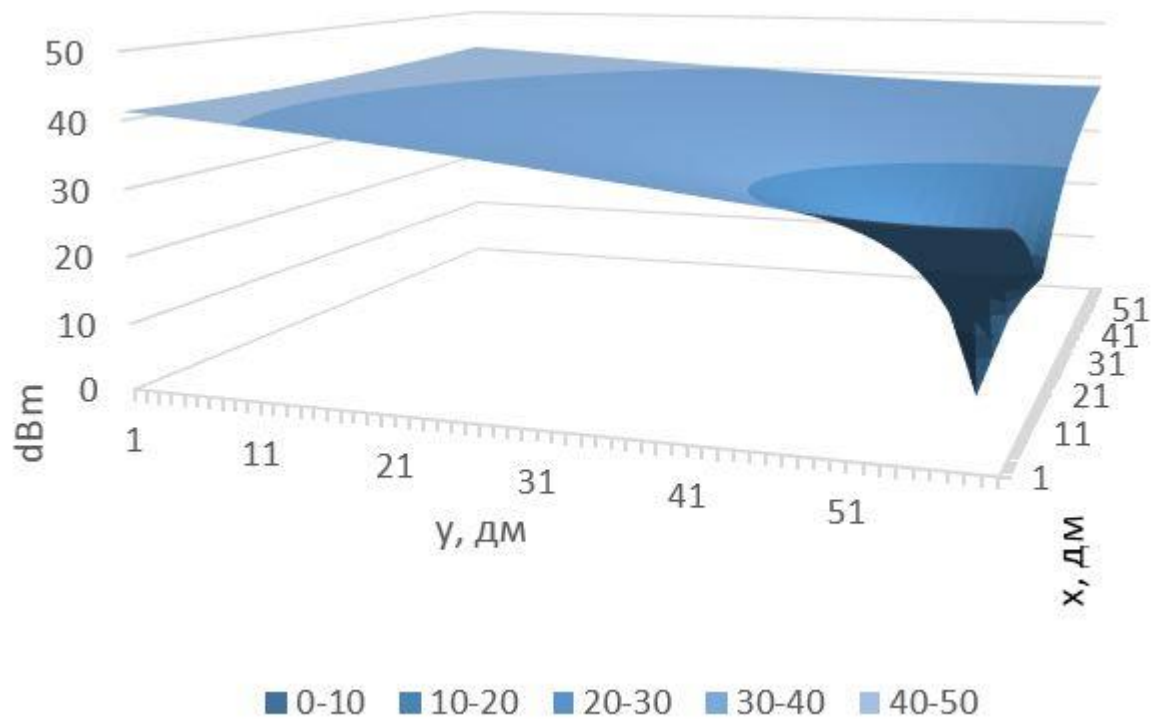


Рисунок 4.6 - Вплив джерела Wifi роутера

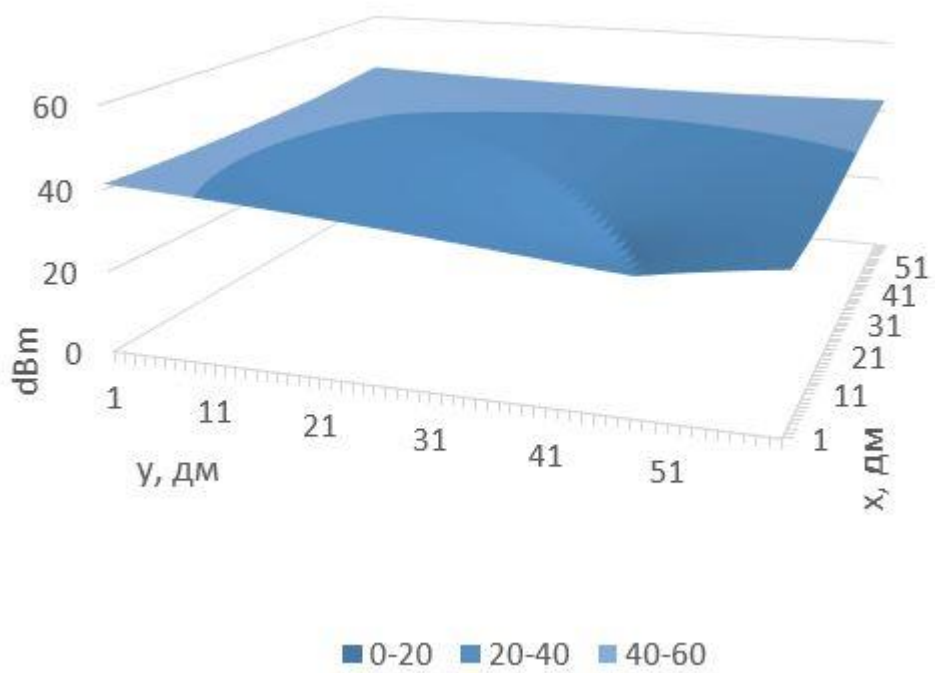


Рисунок 4.7 - Вплив джерела офісного серверу

## 4.2 Моделювання кондуктивної емісії

### 4.2.1 Постановка задачі та задання параметрів

Відомо, що найбільш негативно впливають на радіоелектронну апаратуру саме завади, створені технічним устаткуванням будівлі, тобто кабельними лініями, розподільчими щитками та силовими трансформаторами.

Розглянемо вплив електромагнітного поля на провідник на прикладі кабельного каналу, який складається з силового та сигнального кабелю. Задача полягає в тому, щоб визначити чи буде оптимально працювати сигнальний кабель під впливом силового кабелю.

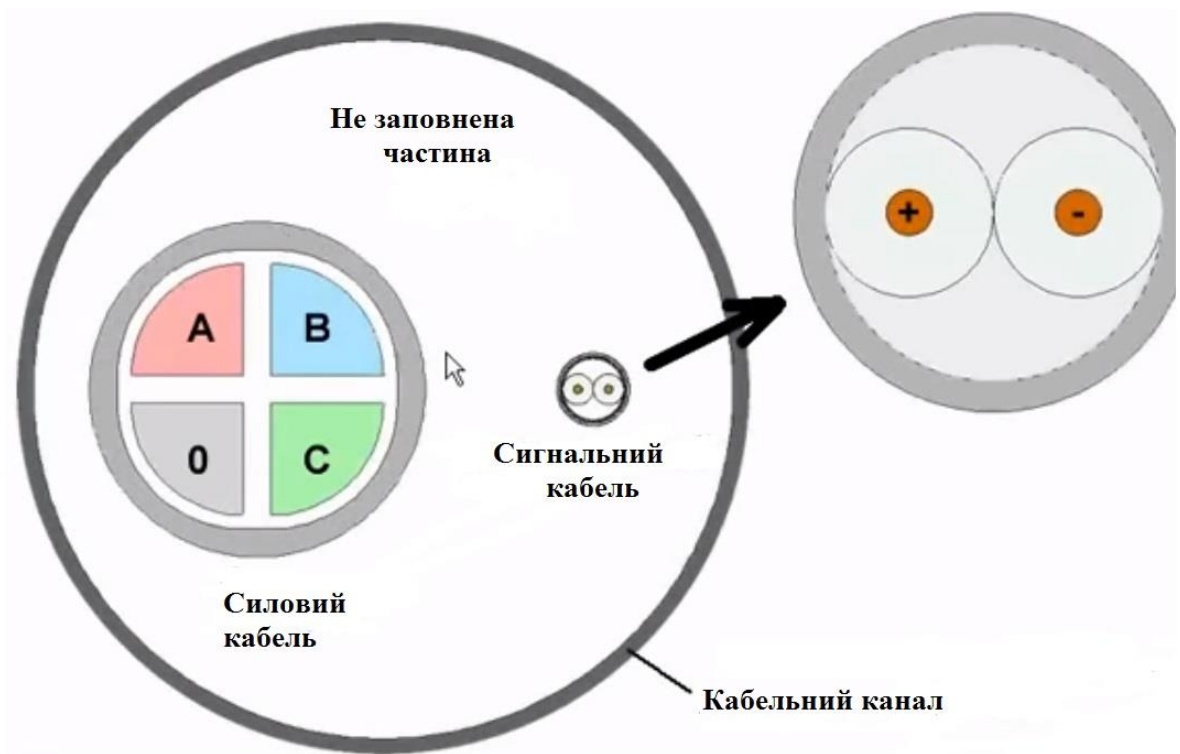


Рисунок 4.8 - Схема кабельного каналу

Силовий кабель – кабель для передачі електроенергії струмом промислових частот. У практичному сенсі мається на увазі кабель для передачі трьохфазного струму від промислових підприємств, комунальних та інших об'єктів до споживачів електроенергії. Використовується для стаціонарної прокладки, також використовується для підключення рухомих установок,



агрегатів та обладнання. Залежно від області і роду застосування, може складатися з різних конструктивних елементів.

Моделювання проводив в програмі Elcut. Elcut- це сучасний комплекс програм для інженерного моделювання електромагнітних, теплових і механічних завдань методом кінцевих елементів [51].

Рисунок 4.9 - Постановка задачі

Як ми бачимо (рис 4.9), було задано частоту 50 Гц, довжину кабелю та сам тип задачі. Далі, в цьому ж середовищі було створено геометричну модель та маркери складових кабелю(рис 4.10).

Силові кабелі складаються з наступних основних елементів: струмопровідних жил, ізоляції, оболонки і захисних покриттів. Силові кабелі розрізняють: по роду металу струмопровідних жил - кабелі з алюмінієвими і мідними жилами, з роду матеріалів, якими ізолюють струмопровідні жили, кабелі з паперовою, з пластмасовою і гумовою ізоляцією, у зв'язку зі захисту ізоляції жил кабелів від впливу зовнішнього середовища - кабелі в металевій, пластмасовій і гумовій оболонці, за способом захисту від механічних пошкоджень - броньовані та неброньовані, за кількістю фаз - одно-, дво-, три-,

чотири- і п'ятифазні. Крім основних елементів в конструкцію кабелю можуть входити екрани, захисне уземлення та наповнювачі. В даному випадку ми використовуємо трьохфазний силовий кабель.

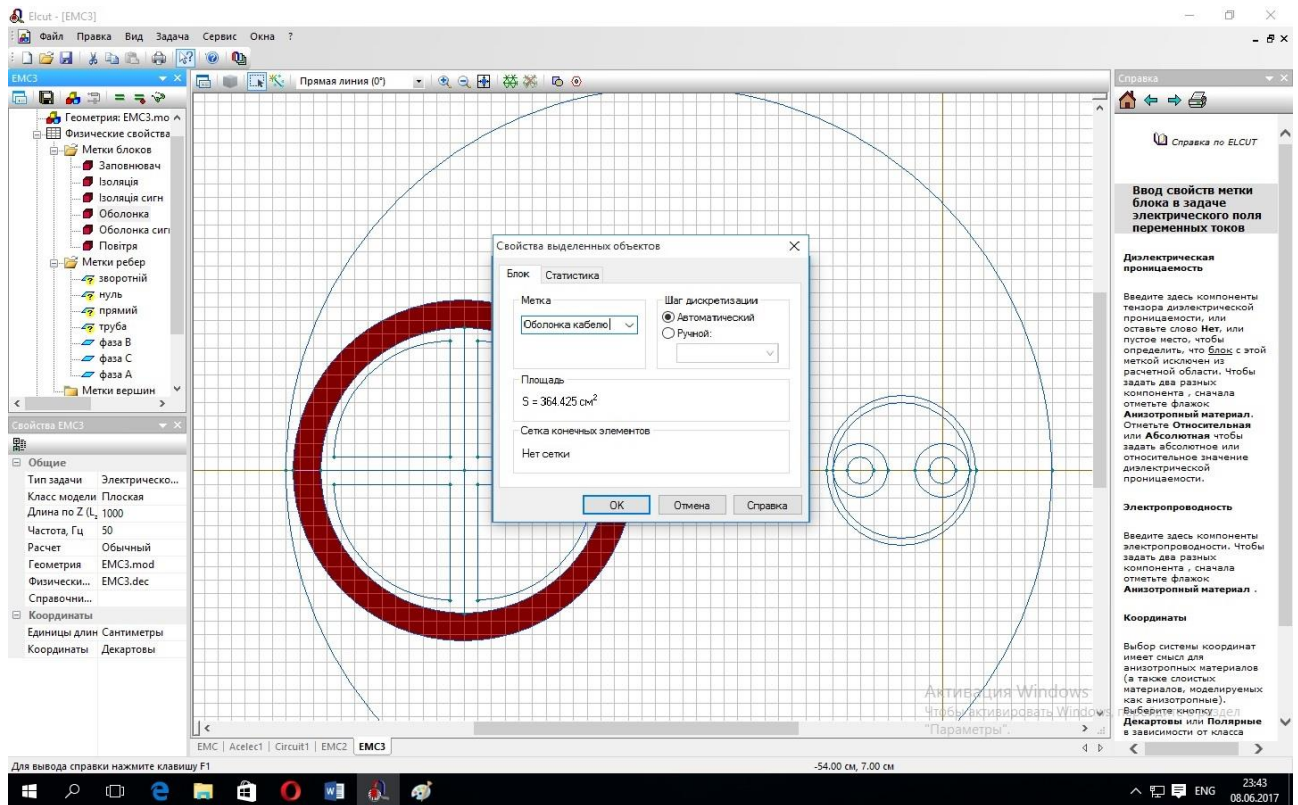


Рисунок 4.10 - Маркування складових кабелю

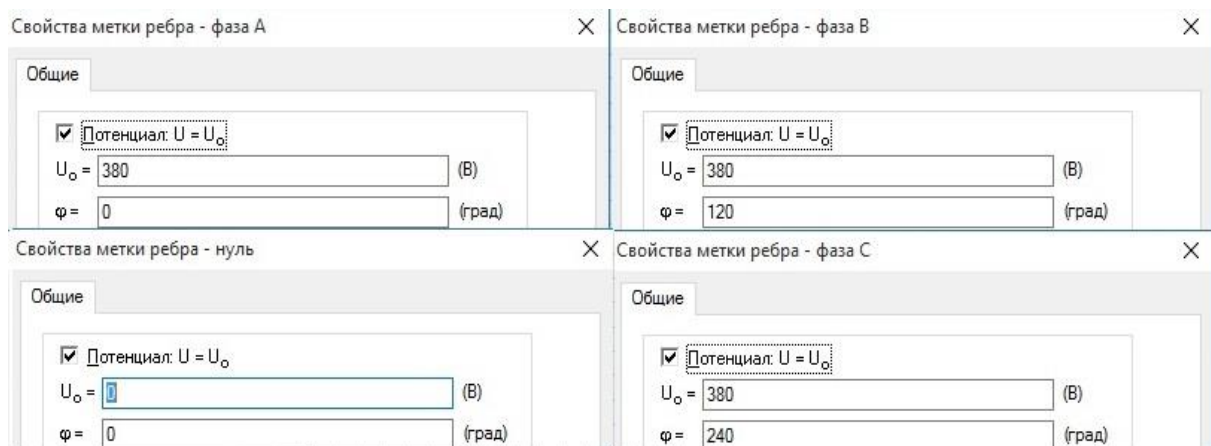


Рисунок 4.11 - Параметры проводников силового кабелю

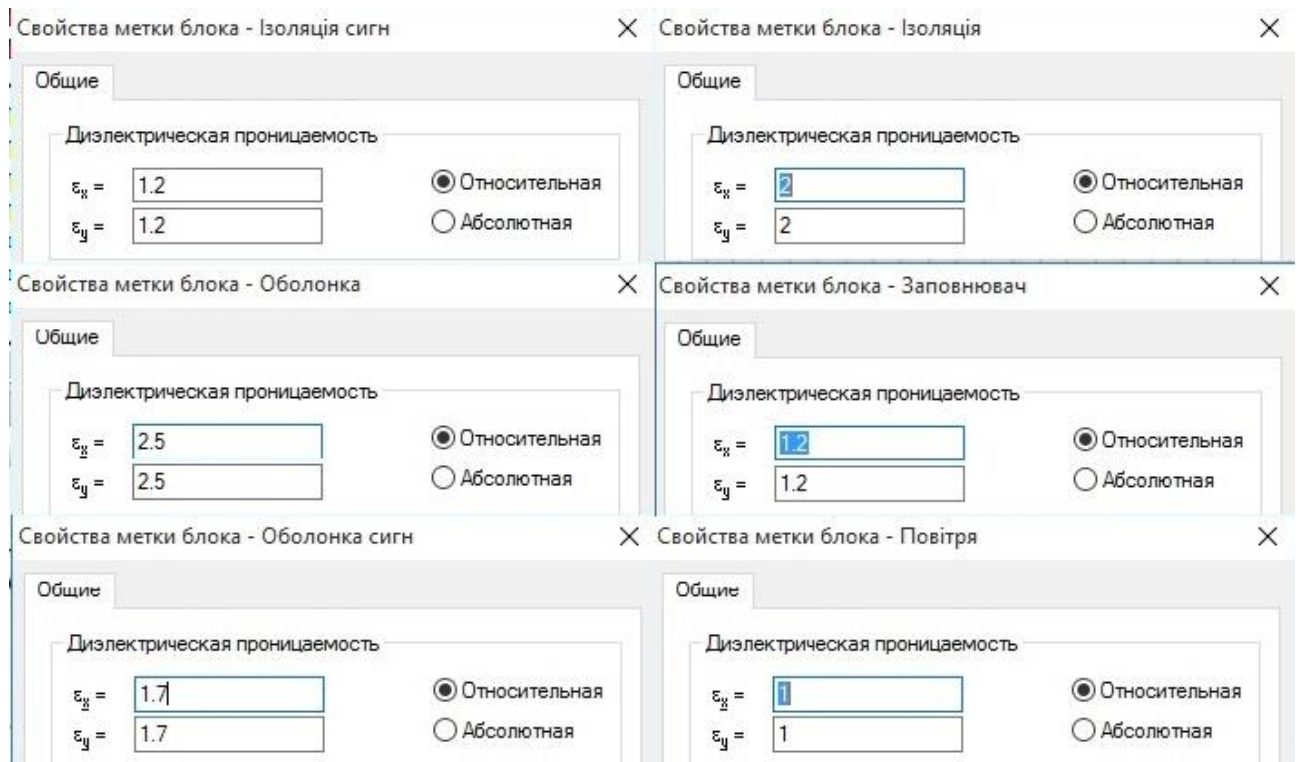


Рисунок 4.12 - Параметры діелектриків

На рис. 4.11 та 4.12 показано задання параметрів діелектриків та провідників

Параметры провідників сигнального кабелю задаються автоматично, та вказуємо що їх ізолювано, щоб саме на них перевірити вплив ЕМП.

#### 4.2.2 Результати

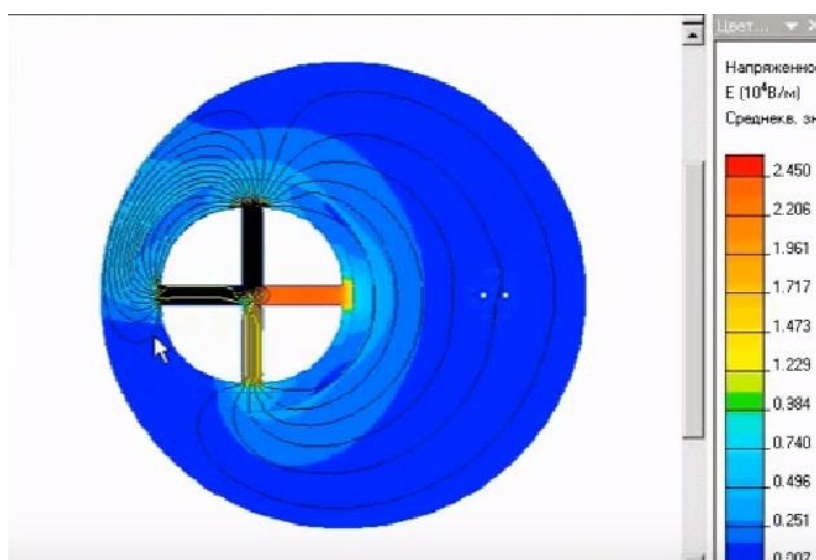


Рисунок 4.13 - Напруженість поля

На рис. 4.13 ми бачимо розподіл ліній напруги в кабельному каналі.

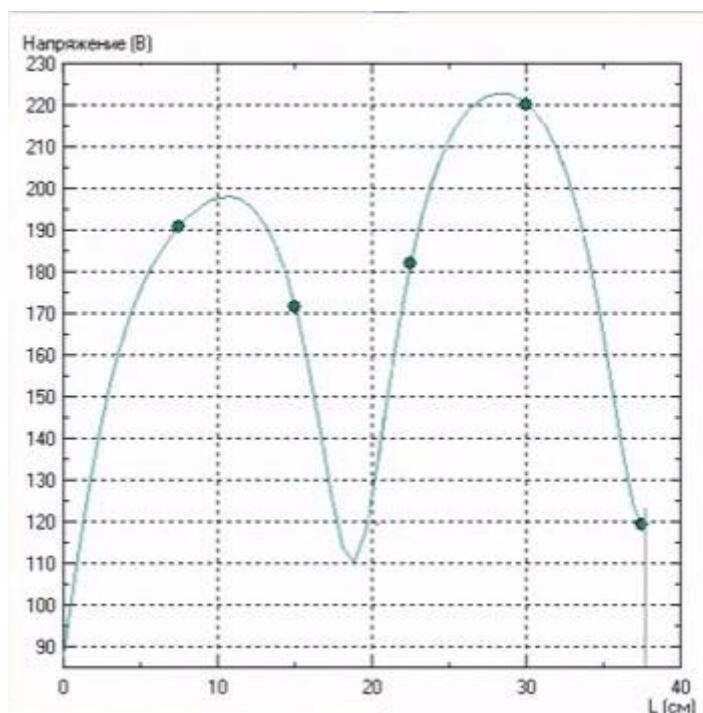


Рисунок 4.14 - Графік напруги

На рис. 3.7 ми бачимо графік розподілу потенціалу по поверхні. А тепер, подивимося розподіл поля саме по сигнальному кабелю.

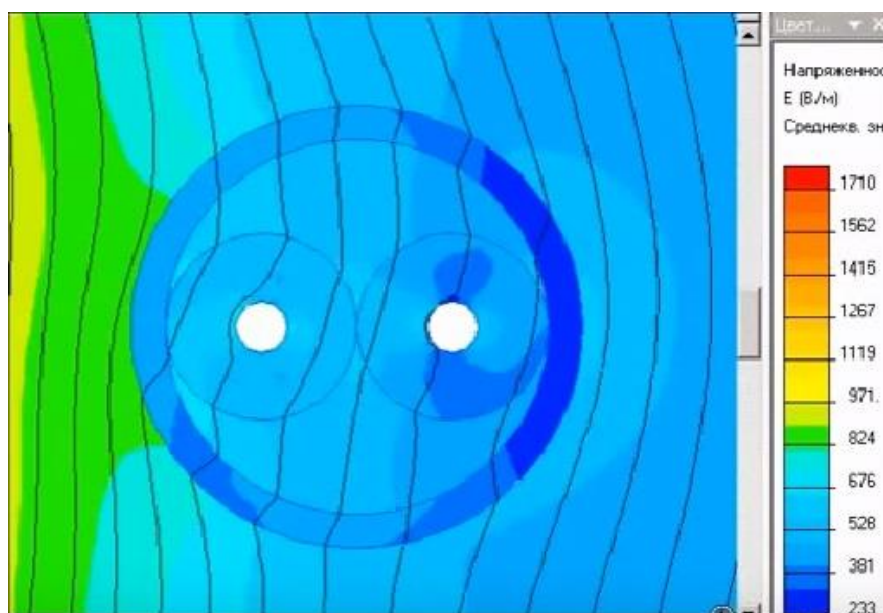


Рисунок 4.15 - Розподіл поля

Дана програма визначила рівень напруженості електричного поля, що випромінюють джерела емісії за однієї частоти (50 Гц). Далі, можна визначити значення потенціалу на самому провіднику.



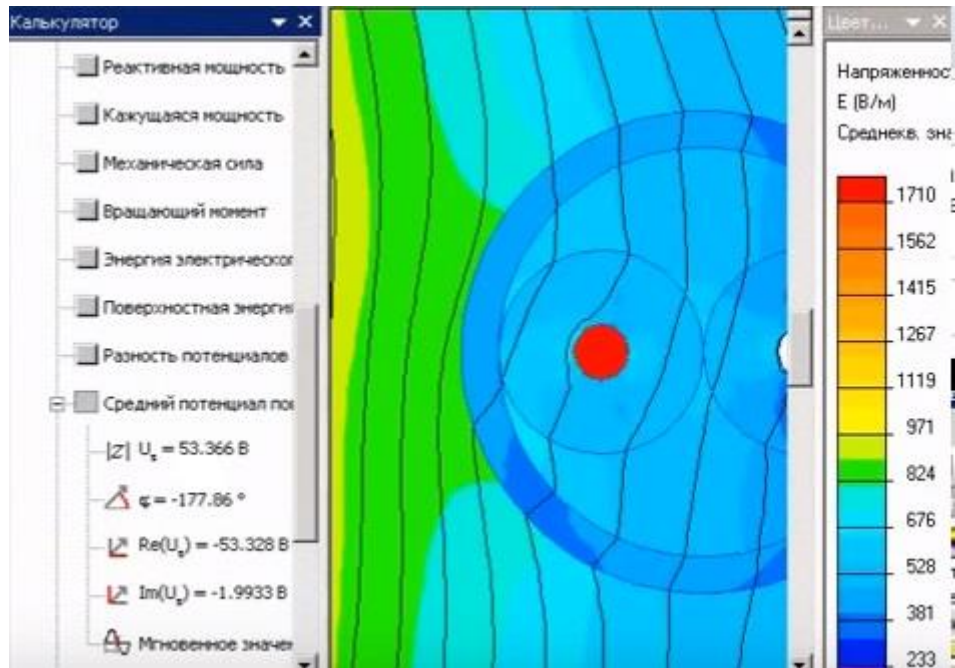


Рисунок 4.16 – Напруженість поля сигнального кабелю

На рис. 4.16 розраховано значення потенціалу на одному з дрітків сигнального кабелю. Враховуючи те, що на сигнальному кабелі ми не задавали параметрів, значення напруги там досить велике.

Отже, для використання різних джерел ЕМП, потрібно враховувати не лише електромагнітну обстановку навколишнього середовища, а й ту яку створюють самі ж прилади. Щоб захиститися від неумисних завад потрібно використовувати різноманітні способи екранування та застосовувати спеціальні фільтри.

## 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1 Можливості запуску проекту

Розробка стартап-проекту заснована на дослідженні електромагнітної обстановки в м.Київ (площа приміщення– 36 м<sup>2</sup>, кількість користувачів – 8).

Проаналізовано та подано у вигляді таблиць[50]:

- зміст ідеї;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);

В таблиці 5.1 представлений опис ідеї стартап-проекту

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги
Дослідження ЕМС телекомунікаційних приладів	Дослідження ЕМО в офісному приміщенні	Користування дискретно-ітераційним методом

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно з пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведення збору інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів.

В даний момент конкурентів в м.Київ немає.

## 5.2 Технологічний аудит

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 5.2):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;
- чи існують такі технології чи їх потрібно розробити/допрацювати;
- чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 5.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Дослідження ЕМО	Програмні засоби для планування мережі	Наявні	Доступно
		Спеціальне програмне забезпечення та устаткування	Наявне	Доступно

## 5.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дає змогу спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Спочатку проводять аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 5.4).[52]

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	2
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	8000000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6.	Середня норма рентабельності в галузі або по ринку, %	200%

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюють із банківським відсотком на вкладення. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.[50]

Надалі визначають потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формують орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Після визначення потенційних груп клієнтів проведений аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Забезпечення ефективності і високого рівня сигналу	Різного роду телекомунікаційні підприємства	Поведінку клієнта формують потреби; особливостей купівлі та експлуатації товару немає	Високий рівень сигналу та висока ефективність



Таблиця 5.5– Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Наявність кваліфікованих кадрів	Потрібні люди з високим досвідом роботи в дослідженні ЕМО	Пошук кваліфікованого персоналу
2.	Потреба в ресурсах	Необхідні високі умови для технічної реалізації	Укладання договорів з комерційними

Надалі проведений аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8)

Таблиця 5.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку[52]

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Олігополія	На ринку присутня невелика кількість фірм, які будують досліджують ЕМО	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально; офіси розміщено у різних містах	Створювати веб-сайт компанії
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари та технології, що задовольняють одну й ту саму потребу.	Слідкувати за новітніми технологіями, та розробками конкурентів

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 5.7, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару визначено та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено у вигляді таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	Необхідно надати високоефективну систему
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	Швидкодія та стабільність
3	Наявність наукових ресурсів	Необхідна наявність наукових кадрів з високим досвідом роботи
4	Економічний	Середня ціна продукту

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводять аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	20							+
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	20							+
3.	Наявність наукових ресурсів	20							+
4.	Економічний	20							+

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Невеликі офісні приміщення	Готові	Високий	Низька	Середня
2.	Великі компанії	Готові	Високий	Середня	Висока

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (таблиця 5.10).

Таблиця 5.10 – Визначення базової стратегії розвитку [52]

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспр оможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	За рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів	Витрати на виробництво	Стратегія лідерства на витратах
2.	Надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.	Формування попиту якісним покриттям та швидкістю доступу до мережі	Стратегія диференціації

В результаті аналізу обираємо стратегію диференціації. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.11).

Таблиця 5.11 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Так	Так	Ні	Стратегія лідер

Визначаємо стратегію позиціонування (таблиця 5.12)

Таблиця 5.12 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Технологія когнітивних радіосистем має забезпечувати ефективне функціонування	Диференціації	Середня ціна, висока якість, доступність	Наукоємність, співпраця, ефективність

#### 5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару представлено в таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує технологія	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Дослідження ЕМО	Використання дискретно-ітераційного методу дослідження	Підвищення ефективності

Надалі розробляють трирівневу маркетингову модель товару: уточнюють ідею продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 5.14).

Таблиця 5.14 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Дослідження ЕМО в м.Київ		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Низька ціна у порівнянні з конкурентами	М	
	2. Висока надійність	М	
	3. Ефективність	М	
	Якість: стабільна робота		
	Пакування: -		
Марка: «ФастЕМО»			
III. Товар із підкріпленням	До продажу гарантія		
	Після продажу обслуговування, налаштування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності			

Захист розробленого продукту буде регламентуватися як захист інтелектуальної власності товару.

Визначення меж встановлення ціни представлено у вигляді таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	—	15млн...35млн дол	120млн дол. і вище	3,0млн – 3,8млн дол..

Так як налаштування обладнання у кінцевого користувача потребує певних професійних навиків від персоналу і обладнання налаштовують під кожного клієнта індивідуально, то збут доцільно проводити власними силами без застосування посередників [50].

## ВИСНОВКИ

В основу забезпечення ЕМС на рівні офісного приміщення повинен бути покладений підхід, що складається: з визначення характеристик пристроїв; опису та аналізу зв'язків; систематизації та організації системи в цілому, тобто – вивчення складної електромагнітної обстановки, раціональний вибір, розміщення і при необхідності, застосування додаткових заходів забезпечення ЕМС (екранування, фільтрація, уземлення та ін.).

Результати проведених вимірювань, а саме ЕМО, що створює офісне обладнання: ноутбук(-35,8 дБм), офісний сервер(-39,4 дБм), Wi-Fi роутер(-30,2 дБм), мобільний телефон(-24 дБм), DTV-T2 приймач(-26,2 дБм) свідчать про складну електромагнітну обстановку, сформовану різними обладнаннями. Існує необхідність розробки загальних рекомендацій, методів і прийомів вимірювання та оцінки ЕМО безпосередньо на робочому місці. Для вирішення завдань і забезпечення ЕМС системний підхід з використанням сучасних комп'ютерних методів моделювання ЕМО.

Як впливає з результатів моделювання, приміщення обладнане різноманітним обладнанням з різним рівнем випромінювання, зазначеним вище, різної сприйнятливості, в широкому діапазоні частот (до гігагерців), що створює складну електромагнітну обстановку і, відповідно, проблеми в забезпеченні електромагнітної сумісності.

Проблема забезпечення ЕМС технічних засобів в офісних приміщеннях охоплює широкий комплект обладнання. Достовірне знання рівнів і просторового розподілу електромагнітних полів від різних блоків - необхідна умова якісного і безпечного функціонування та експлуатації обладнання.

Зрозуміло, оцінка ЕМО не є самоціллю. З її результатів розробляють та реалізують захисні заходи та засоби. Залежно від результатів обстеження, вони можуть включати наступне.

1. Раціональна реалізація уземлювального пристрою, включаючи:

- приведення систем уземлення та вирівнювання потенціалів у будівлях і приміщеннях офісів у відповідність із вимогами;

- розділення уземлювальних провідників для інформаційної техніки та пристроїв, здатних створювати значні завади;
- встановлення вертикальних уземлювачів для пристроїв грозозахисту, розрядників і обмежувачів перенапруги;
- забезпечення розтікання струму блискавки на безпечній відстані від ланцюгів живлення та чутливих ланцюгів, а також місць розташування апаратури;
- відновлення ушкоджених і прокладання відсутніх уземлювальних електродів;
- розірвання непотрібних зв'язків (наприклад, між елементами грозозахисту та фільтрами ВЧ - зв'язку, кабельними каналами та ін.).

## 2. Коректне прокладання кабелів за умов забезпечення ЕМС:

- окреме прокладання інформаційних і силових кабелів;
- організація екранування;
- застосування інформаційних кабелів з високим ступенем симетрії;
- прокладання трас кабелів в обхід областей з високими рівнями електромагнітних полів;
- використання (там, де це виправдано) оптичної розв'язки.

## 3. Модернізація систем живлення:

- встановлення стабілізаторів, розділових трансформаторів і пристроїв резервування живлення;
- використання джерел безперебійного живлення, випрямлячів з низьким рівнем завад;
- розділення кіл уземлення та занулення (перехід з системи TN-C до системи уземлення на основі тривимірної екіпотенціальної сітки або на систем TN-S і TN-C-S);

Цей перелік не є вичерпним, існує ще багато інших засобів та заходів забезпечення ЕМС, спрямованих на зниження рівня завад, що впливають на апаратуру. Більш того, специфіка офісних об'єктів, як правило, така, що рівень діючих на апаратуру завад не може бути знижений до дуже малих значень без великих витрат. Тому для чутливої апаратури повинен забезпечуватися високий



рівень власної завадостійкості. Для забезпечення нормальних умов роботи, електромагнітна обстановка ЕМО створювана, як окремими пристроями, так і самим приміщенням в цілому, повинна відповідати вимогам, що приписані в стандартах в галузі ЕМС.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А. Д. Князев – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
2. Иванов В.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / В. А. Иванов, Л. Я. Ильницкий, М. И. Фузик – К.: Техника, 1983.–120 с.
3. Уайт Д.Р.Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып.1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи: Сокращ. пер. с англ./ Под ред. А. И. Сапгира. М.: Сов.радио, 1977. – 352 с.
4. Уайт Д.Р.Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып.2. Внутрисистемные помехи и методы их уменьшения: Сокращ. пер. с англ./ Под ред. А. И. Сапгира. М.: Сов.радио, 1978.–272 с.
5. Волин М. Л. Паразитные процессы в РЭА / М. Л. Волин –М.:Советское радио, 1981.–296 с.
6. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами / Дж. Барнс – М.: Мир, 1990. – 238 с.
7. Кечиев Л. Н. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций / Л. Н. Кечиев, П. В. Степанов – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 320 с.
8. Пілінський В. В. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів. Курс лекцій / Автор і укладач В.В. Пілінський.– К. НТУУ „КПІ”, 2008. – 374 с.  
Електронна версія 2010, 17,5 МБ.
9. Волин М. Л. Паразитные процессы в РЭА / М. Л. Волин –М.:Советское радио, 1981.–296 с.
10. Уильямс Т., Амстронг К. ЕМС для систем и установок: Пер. с англ. – М.: Технологии, 2004. – 508 с.

11. Directive 2014/30/EU of 26 February 2014 on the harmonization of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/electromagnetic-compatibility>
12. ДСТУ – ІЕС 60050 – 161: 2003 Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність.
13. ДСТУ 4210:2003 (EN 55103-1:1996) Електромагнітна сумісність. Професійна аудіо-, відео- й аудіовізуальна апаратура та апаратура керування освітлювальними установками. Частина 1. Емісія. Норми та методи вимірювання.
14. ДСТУ 4211:2003 (EN 55103-2:1996) Електромагнітна сумісність. Професійна аудіо-, відео- й аудіовізуальна апаратура та апаратура керування освітлювальними установками. Частина 2. Несприйнятливість. Норми та методи вимірювання.
15. ДСТУ ІЕС 61000-6-1:2007 (ІЕС 61000-6-1:2005, IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 6 –1. Родові стандарти. Несприйнятливість обладнання у житловому і торговому середовищі та у виробничих зонах з малим енергоспоживанням.
16. ДСТУ ІЕС 61000-6-3:2007 (ІЕС 61000-6-3:2006, IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 6 –3. Загальні стандарти. Емісія завад у житловому і торговому середовищі та у виробничих зонах з малим енергоспоживанням.
17. ДСТУ EN 55013:2004 Норми та методи вимірювання характеристик приймальних пристроїв та підключеного до них обладнання (EN 55013:1997, IDT)
18. ДСТУ CISPR 15 (CISPR 15:2005, IDT) Норми та методи вимірювання характеристик радіозавад електричного освітлювального та аналогічного обладнання

19. ДСТУ CISPR 22 (CISPR 22:1997, IDT) Обладнання інформаційних технологій. Характеристики радіозавад. Норми та методи вимірювання
20. (ДСТУ IEC/TR22 61000-3-5:2004 IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 3-5. Норми. Нормування флуктуацій напруги та флікеру в низьковольтних системах електроживлення для обладнання з номінальним струмом силою понад 16 А
21. ДСТУ EN 61000-3-3:2004 (EN 61000-3-3:1995, IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 3-3. Норми. Нормування флуктуацій напруги і флікера в низьковольтних системах електропостачання для устаткування з номінальним струмом силою не більше 16 А.
22. ДСТУ IEC 61000-3-2 – 2005 (IEC 61000-3-2:2004, edition 2.2, IDT) Норми емісії гармонік струму (сила вхідного струму обладнання не перевищує 16 А на фазу)
23. ДСТУ 3593-97 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Джерела електроживлення. Методи випробувань на кондуктивні радіозавади
24. ДСТУ EN 55020:2003 Електромагнітна несприйнятливість мовленнєвих приймачів та підключеного до них обладнання.
25. ДСТУ 4197:2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 2. Вимоги до електромагнітної сумісності обладнання (IEC 60728-2:2002, MOD)
26. ДСТУ 4205:2003 Телевізійне та звукове мовлення й інтерактивні мультимедійні служби. Кабельні розподільчі системи. Частина 12. Вимоги до електромагнітної сумісності систем (IEC 60728-12:2001, MOD)
27. Kia Wiklundh and Peter Stenumgaard. EMC Challenges for the Internet of Things. Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017.

28. Векслер Г.С. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г. С. Векслер, В. С. Недочетов, В. В. Пилинский – К.: Техника, 1990. – 167 с. Библиогр.: с.159-164 – ISBN 5-335-00575-0.
29. Pilinsky, V. Assessment of Electromagnetic Environment Mains occurring by SMPS & PLC Systems / V. Pilinsky, A. Rozvadovsky, I. Zaitcev // Proceedings of the 11-th Int. Symp. on EMC “EMC Europe 2012”, C 8-6. Rome, Italy, Sept. 17-21, 2012.
31. Електромагнітна сумісність. Професійна аудіо-, відео- й аудіовізуальна апаратура та апаратура керування освітлювальними установками. Частина 1. Емісія (EN 55103-1:2009, EN 55103-1:2009/A1:2012, IDT): ДСТУ EN 55103-1:2014. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – (Національний стандарт України).
32. CISPR/TR 18-1, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 1: Description of phenomena, edition 2.0, 2010-06.
33. CISPR/TR 18-2, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits, edition 2.0, 2010-06.
34. CISPR/TR 18-3, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise, edition 2.0, 2010-06.
35. Маслов М. Ю. Численный анализ электромагнитной обстановки в офисном помещении / М. Ю. Маслов // Вестник СОНИИР 2004. – №1–С. 162- 168.
36. Антипова С. Е. Романов В.А. Методы прогнозирования нитной обстановки на рабочих местах предприятий электроэнергетики и связи/ С. Е. Антипова // Радиотехника. 2001. – № 9. – С. 81-85.
37. Sarkar Tapan K. A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication / Tapan K. Sarkar, Zhong Ji, Kyungjung Kim, Abdellatif

Medour, Magdalena Salazar-Palma<sup>3</sup> IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 3, June 2003

38. ITU-R P.1238-8 Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz. Geneva: ITU-R Recommendations, 2015.
39. Бузов А. Л. Моделирование электромагнитных полей, возникающих за счет антенного эффекта технических средств в закрытых помещениях / А. Л. Бузов, М. Ю. Маслов // Антенны и электродинамика СВЧ. 2002. – № 7. – С. 9-12.
40. Johnson, B. Professional Visual Studio 2012 / B. Johnson : *New York. Wrox Publ.*, 2012. 1104 p.
41. [Herbert Schildt](#) C# 4.0 The Complete Reference / McGraw Hill Professional, NY: McGraw Hill Professional, 2010, 976 p., ISBN-13: 978-0071741163.
42. Петрищев О. Н. О природе источников электромагнитных помех звукового частотного диапазона / О. Н. Петрищев, В. В. Пилинский, А. С. Чупахин // Известия ВУЗов Радиоэлектроника. Том 59, № 10 2016.– С. 47-59. 13 с.
43. Walravens C. Efficient Reduction of Electro- magnetic Interference Effects in Operational Amplifiers / C. Walravens, S. Van Winckel, J. – M. Redout'e, M. Steyaert // IET Electronics Letters. – Jan. 2007. – Vol. 43, №. 2. – P. 84 – 85.
44. Richelli A. Design of a Folded Cascode Opamp with Increased Immunity to Conducted Electromagnetic Interference in 0.18um CMOS / A. Richelli, G. Matig-A, J.–M. Redout'e, // Elsevier Microelec- tronics Reliability. – Mar. 2015. – Vol. 55, № 3-4. – P. 654-661
45. Elliott Cole Reducing Electromagnetic Interference (EMI) With Low Voltage Differential Signaling (LVDS) Application Report SLLA030C //

46. O. Petrishev Electroacoustic Effects as Motive of Power Electronics Units EMI Generation / V. Pilinsky, M. Rodionova, V. Shvaichenko //19<sup>th</sup> International Wroclaw Symposium & Exhibition on Electromagnetic Compatibility(EMC-2008): Wroclaw, June 11-13 Proceeding, 2008.– p. 405 – 410.
47. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
48. ELCUT [<http://www.elcut.ru/index.htm>]: Функціональність ELCUT– Режим доступу: [http://www.elcut.ru/pack\\_r.htm](http://www.elcut.ru/pack_r.htm)– Назва з екрану (10.11.2018 р).
49. Ткачук, О.І. Забезпечення раціонального використання радіочастотного ресурсу на основі когнітивного радіо. Магістерська дисертація – Київ: НТУУ «КПІ», 2017 – 129 с.
50. Сайко, Р.Ю. Дослідження електромагнітної обстановки, створеної електронною інформаційною апаратурою. Магістерська дисертація – Київ: НТУУ «КПІ», 2018 – 104 с.